PHILIPS

LEHRBRIEFE

Band 1

Alle Rechte, auch das der Übersetzung vorbehalten

Zweite überarbeitete Auflage 501 – 15000

Herausgeber: DEUTSCHE PHILIPS GMBH, Werbeabteilung/Verkaufsförderung
Hamburg 1, Mönckebergstraße 7

Lieber Leser!

Sinn und Zweck der ersten Auflage dieser Lehrbriefe war die Unterrichtung und Schulung einer bestimmten Gruppe Angestellter der DEUTSCHEN PHILIPS GMBH. Sie sollte das technische Wissen um die Artikel unseres Vertriebsprogramms in zwar umfassender, aber leicht verständlicher Form vermitteln.

Die erste Auflage wurde deshalb in einzelnen Folgen herausgegeben. Die Erfahrung der letzten Jahre zeigte, daß diese Lehrbriefe außerordentlichen Anklang fanden, und zwar nicht nur in der Gruppe, für die diese Lehrbriefe zunächst bestimmt waren, sondern besonders in den Kreisen der Lehrerschaft und des Ausbildungspersonals der technischen Berufsschulen und Lehrlingsausbildungsstätten.

Wir haben uns deshalb entschlossen, dem immer stärker an uns herangetragenen Wunsche nach einer gebundenen Zusammenstellung dieser Lehrbriefe nachzukommen.

Wir wünschen dieser zweiten überarbeiteten Auflage, daß sie zu einer nützlichen Hilfsquelle und zu einem Nachschlagewerk für alle die werden möge, die sich der Rundfunk- und der Lichttechnik verschrieben haben.

DEUTSCHE PHILIPS GMBH
Werbeabteilung / Verkaufsförderung

Im August 1952

Inhaltsverzeichnis:

Seite

I. Ein versiegeltes Buch öffnet sich 1

A) Etwas Elektrotechnik 1
B) Wechselstrom 21
C) Gleichrichtung 35

II. Ein Abschnitt Rundfunktechnik

A) Funkwellen 53
B) Schallwellen 61
C) Sendung und Empfang 69
D) Rundfunkempfänger
Erstes Wissen 79
E) Kleine Röhrenkunde 97
F) Empfang mit einer Röhre 111
G) Mehr Röhren – besserer Empfang 127
H) Ultrakurzwellen-Funk 139
I) Von wichtigen Aufbauteilen des Empfängers
1) Spule und Induktivität 174
2) Kondensator und Kapazität 180

III. Schall auf 100 Wegen

A) Vom Mikrofon über den Verstärker zum Lautsprecher . 192
B) Mikrofone 200
C) Verstärker 223
D) Lautsprecher 235
E) Vorführung von Ela-Anlagen 253

IV. Licht und Beleuchtung

A) Allgemeines 269
B) Lichttechnische Grundgrößen 281
C) Die elektrische Glühlampe 293
D) Photolampen 315
E) Gasentladungslampen 329
F) Metalldampflampen 343
G) Leuchtstofflampen (TL-Lampen) 367
H) Bakterientötende Lampe TUV 15 Watt und 30 Watt . 383
I) Verwendung der Lichtquellen
1) Glühlampen 385
2) Quecksilber- und Natriumdampflampen 387
3) Mischlichtlampen 387
4) Leuchtstofflampen (TL-Lampen) 387

K) Planung von Beleuchtungsanlagen 391
a) Beleuchtungsstärke 391
b) Gleichmäßigkeit der Beleuchtung 394
c) Die Lichtfarbe 396
d) Schattenwirkung 397
e) Art der Beleuchtung 398

V. Infrarot-Strahler 399
A) Die Infraphil-Lampe 399
B) Infrarot-Trockner 410
1) Wirkungsweise und Aufbau 410
2) Einige Beispiele der Infrarot-Anwendung 416

Anhang
Ein Begriff wird verständlich: Das Dezibel 418
Dezibel-Tafel 425

Stichwortverzeichnis

Abstimmung 79, 80, 86, 92
Absolute Temperatur 307
Ampère (A) 1, 4
Amplitude 270
Anfangs-(Minimal-)Kapazität 89
Ångström (Å) 58
Anode 334
Anpassung (Mikrofon) 218
Apostilb (Leuchtdichte) 288
Arbeitsleuchten 393
Argenta 303
Argon 367
Ätherwellen 57
Atom 330, 370
Aufladung 89
Ausgangsspannung 218
Autolampen 310

Bakterientötende Lampe (TUV) 374
Bandbreite 74, 76, 77
Belag 90
Beleuchtungsstärke (Lux) 289, 391
Blendung 395
Blindstrom 375
Blitzlampen (Photo) 318
Breitbandlautsprecher 243
Brennlagen 347

Candela (cd) 285
Christbaumbeleuchtung 311

Detektor 94
Dezibel (db) 205, 418
Diffus 318
Doppelwendel 299
Drehkondensator 87 – 89, 92
Drossel 340, 367
Druckkammersystem 247
Dunkelkammerlampe 327
Duo-Schaltung 377

Eigenfrequenz 82
Einweg-Gleichrichtung 39
Ela 253
Elektroden 329
Elektromagnet 195
Elektromagnet dynamisch 238
Elektromagnetisch. Kraftlinienfeld 91
Elektronen 329
Elektronenfluß 47
Elektronisches Ventil 48
Elemente 331
Entstörkondensator 378

Farad (F) 88
Faraday 88
Frequenz 22, 65, 82
Frequenzabstand der Sender 77
Frequenzbereich
der Musikinstrumente 65
Frequenzkurve 230

Funkwellen 53

Gasentladungslampen 329, 343
Gaus 248
Gegentakt-Endstufe 229
Geräusche 66
Gitter 301
Glasglocken 312
Glättung 43
Glättungskondensator 45, 50
Gleichrichterröhre 46, 47
Gleichrichtung, Gleichrichter 34, 35, 93
Gleichstrom 45
Glimmentladung 337
Glimmzünder 367
Glühlampe 293, 385

Halbwelle 39, 40 – 42
Hartglas 351
Heizspannung 49
Hertz 22, 54, 55, 65
Hochdrucklampen 349
Höhensonne 407
Hörbereich des Menschen 65

Impedanz 218
Infraphil 4, 13
Infraphil-Lampe 399
Infrarot 275, 399, 410
Infrarot-Trockenstrahler 4
Indirekte Heizung 50
Induktiv 376
Ion 332
Isolation 19

Kanalbreite 74
Kapazität 87
Kapazitiv 376

Kathode 334
KAZE (Merkwort) 18
Kilohertz (kHz) 55
Kiloohm 19
Kilowatt (kW) 10 – 14
Kilowattstunde (kWh) 14 – 16
Klänge 66
Klangfarbe 68, 75
Klangzerstreuer 243
Klirrfaktor 233
Kondensator 44, 45, 50, 86
Kondensator 351, 375
Kristalldetektor 94
Kurzwellen 56 – 59

Ladung 89
Langwellen 55 – 59
Lautsprecher 235
Leitungsmaterial 18
Leistung 1, 10 – 13
Leistungsfaktor 375
Leistungsquerschnitt 2
Leuchtdichte (Stilb) 287
Leuchtstoffe 364
Leuchtstoffiampen (TL) 367, 372, 387
Leuchtzeit (Photo) 324
Lichtfarbe 396
Lichtmenge (Lmh) 292
Lichtstärke (Candela [cd]) 285
Licht und Beleuchtung 269, 385
Lineare Teilung 423
Logarithmieren 420
Lumen 281, 292
Luminiszenzstrahler 276, 364
Lux (Beleuchtungsstärke) 289

Magnetismus 24
Megahertz (MHz) 56

Megohm (MΩ) 19
Metalldampflampen 343
Mikrofarad (μF) 88
Mikrofon 192, 200, 264
„ Anpassung 218
„ Kondensator-Mikrofon 216
„ Kohle- „ 215
„ Tauchspulen- „ 209
Mikron (μ) 58, 271, 404
Minimalkapazität 89
Mischlichtlampen 359, 387
Mischpultverstärker 285
Mittelwellen 55, 57
Modulation 71, 72
Molekül 330

Natriumdampflampe 276, 343
Nebenschluß 37
Netztransformator 43
Niederdrucklampe 374
Niederfrequenz 225

Obertöne (68)
Öffnungsspannung 369
Ohm (Ω) 19

Pausarbeiten 363
Pferdestärke 13, 14
Phon 244
Phon, Phontabelle 68
Photolampen 315, 361
Picofarad (pF) 88
Piëzo-elektrischer Effekt 217
Primärwicklung 27
Pulsierender Gleichstrom 37
Projektionslampen 309, 386
Potenzieren 419

Quecksilberatom 370
Quecksilberdampflampen 343, 349 359, 387

Radizieren 420
Raumakustik 256, 267
Reflexion 392
Reflextrichter 246
Repro-Lampe (HPR) 361
Resonanz 79–83
Resonanzfrequenz 82
Richtcharakteristik 207
Rundfunkempfänger 79
Rundfunktechnik 53

Seitenband 77
Sekundärwicklung 27
Selbstinduktion 369, 375
Sendung und Empfang 69
Siebung 43
Sockel (Lampen) 311
Spannung 1, 5–8
Spektralempfindlichkeit 320
Spektrum 348, 357, 372, 401
Speziallampen 305
Spule 86, 90

Schall 192
Schallgeschwindigkeit 68
Schallgruppen 267
Schallwand 242
Schallwellen 61
Scheitelwert 323
Schienenmontage 381
Schlagschatten 387, 397
Schwingungskreis 86, 90–92

Stabilisierung 340

Starter 367
Sterilisierung 384
Stilb (Leuchtdichte) 287, 358
Strahlen 272, 358, 410
Stromkosten 14—16
Stromstärke 1, 3, 4

Tabelle der Ätherwellen 57
Thyratron-Röhre 381
Tieftemperatur 374
TL-Lampen 372
Tonbereich der Musikinstrumente 65
Töne 66
Tonfrequenzband 74
Tonhöhe 62, 63
Trägerwelle 69
Transformator 23, 27, 341
Trockengleichrichter 39, 46

Uebersetzungsverhältnis 27, 28
Übertrager 249
Ultrakurzwellen 56, 57
Ultrarot 275
Ultraviolett-Strahler (HPW) 364, 383
Umspanner 23, 27
Unkompensiert 380

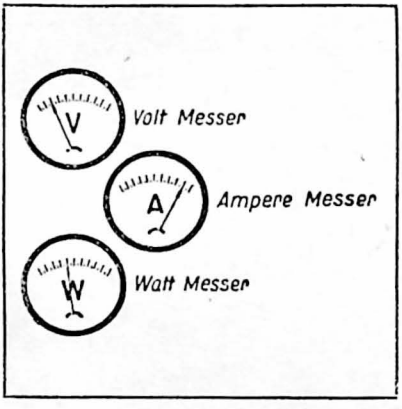
Vakuum 285
Verstärker 197, 223
Voltmeter 7, 26
Volt (V) 1, 5
Vorschaltgerät 376
Vorverstärker 227

Wabengitter 398
Watt 1, 10—14
Wassergekühlte Lampe (SP) 356
Wechselstrom 21
Wellen 272, 361, 404
Wellenlänge 55, 84
Widerstand 17
Wolfram 297, 406

Zahl der Sender 77, 78
Zündspannung 338, 381
Zündzeit (Photo) 324
Zweiweggleichrichtung 40, 42, 43, 51

I. Ein versiegeltes Buch öffnet sich:
A) ETWAS ELEKTROTECHNIK

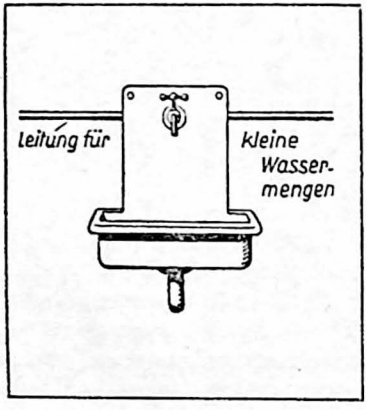
Wer elektrische Geräte verkauft, muß wenigstens etwas von Elektrotechnik verstehen, denn er tritt immer wieder Leuten gegenüber, die „im Bilde" sind. Das Wissen um diese Dinge macht sicherer, macht selbstbewußter.



Auf Schritt und Tritt tauchen die Bezeichnungen „Volt", „Ampere" und „Watt" auf. Sie kennzeichnen bestimmte Eigenschaften des elektrischen Stromes, wie etwa Größe, Länge und Breite gewisse Eigenschaften eines Kastens kennzeichnen.

Der elektrische Strom fließt unsichtbar durch metallische Leitungen. Vergleiche mit sichtbaren Wasserströmen, die durch Rohre fließen, geben schnell Aufschluß über das „geheimnisvolle" Wesen elektrischer Ströme.

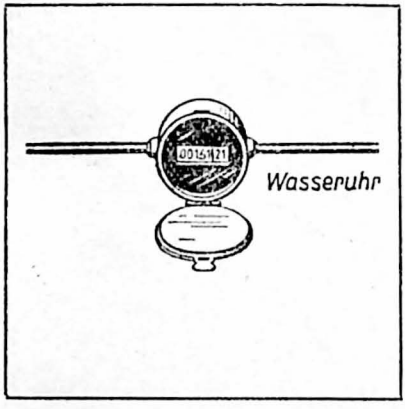
Soll eine große Wassermenge durch Rohre fortgeleitet werden, so bedarf es eines großen Leitungsquerschnittes.



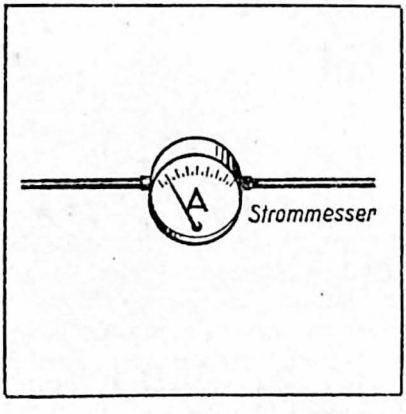
Dünne Rohre reichen nur für die Fortleitung kleiner Wassermengen aus.

Ähnlich in der Elektrotechnik: starke elektrische Ströme verlangen große Leitungsquerschnitte.

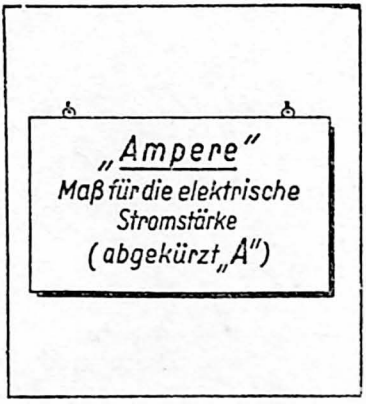
Kleine elektrische Ströme bedürfen nur schwacher Leitungen, sie können durch dünne Drähte von hier nach dort befördert werden.



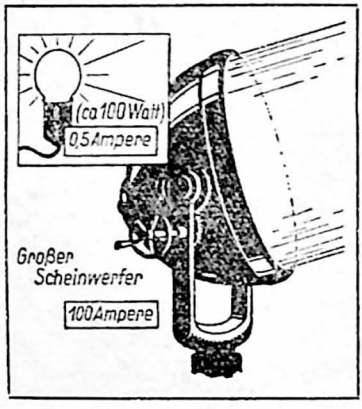
Die Wassermengen, die in einer bestimmten Zeit durch eine Wasserleitung fließen, kann man messen, z. B. durch eine besonders konstruierte in die Leitung eingebaute „Wasseruhr".



Die Stärke des elektrischen Stromes, die man kurz „Stromstärke" nennt, kann jederzeit an einem in die Leitung gelegten Meßinstrument abgelesen werden.

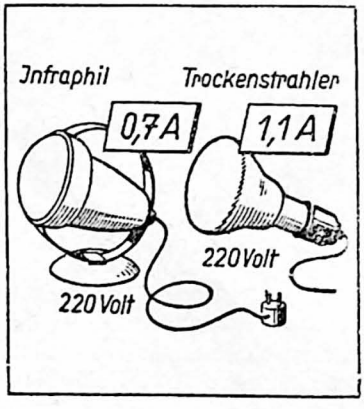


Wie man Längen in Metern, Flüssigkeitsmengen in Litern, Gewichte in Gramm oder Kilogramm angibt, wertet man elektrische Stromstärken in „Ampere" (sprich: Ampär).



Durch eine mittelstarke elektrische Glühlampe fließt beispielsweise ein elektrischer Strom von etwa einem halben Ampere.

Verständlich, daß durch die elektrische Lichtquelle eines großen Scheinwerfers viel mehr Strom fließt; hier ist ein solcher, der eine Stromstärke von 100 Ampere für seinen Betrieb verlangt.



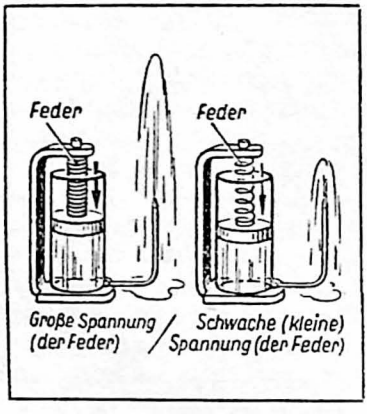
Durch den „Infraphil"-Wärmestrahler z. B. fließt ein Strom von rund 0,7 Ampere Stärke, durch den Infrarot-Trockenstrahler ein solcher von etwas mehr als 1 Ampere Stromstärke – bei 220 Volt Spannung.

Hoppla, da stolpern wir: „Volt" und „Spannung", was ist denn damit?

Kehren wir zum Wasservergleich zurück. Wasser kann nur dann durch eine Leitung fließen, wenn es durch sie hindurch**gedrückt** wird. „Aber bei fließenden Bächen und Flüssen drückt doch nichts?" Irrtum: auch hier ist Druck vorhanden, nämlich das Eigengewicht des Wassers und das Gefälle. Doch das soll jetzt nicht interessieren. Die Zeichnung hierneben stellt ein zylindrisches Gefäß mit Wasser und einem Kolben dar, mit dessen Hilfe das Wasser unter Druck gesetzt werden kann. Angeschlossen ist eine Rohrleitung. Aus dem nach oben gebogenen Ende fließt kein Wasser aus. –

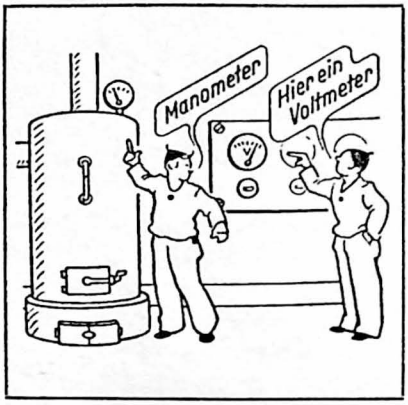
Jetzt wird auf den Kolben gedrückt. Das Wasser beginnt zu fließen, es sprudelt aus der Rohröffnung als Springbrunnen empor.

Je geringer der Druck, um so geringer die Höhe der Springbrunnen-Wassersäule.

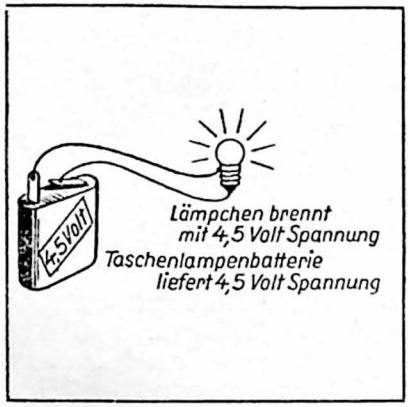


Statt des Mannes kann der Druck auch durch eine Feder ausgeübt werden. Bei starker Spannung der Feder ist der Druck groß, bei kleiner Spannung ist er natürlich klein.

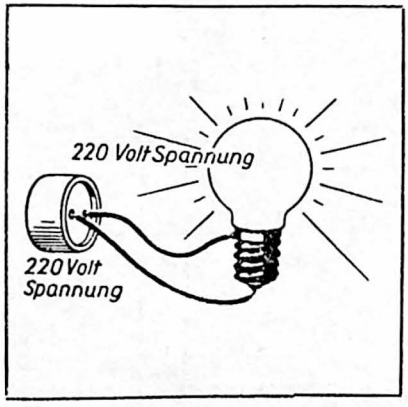
Der elektrische Druck wird „Spannung" genannt. Er wird von bestimmten elektrischen Maschinen (Generatoren) oder auch in sogenannten „Elementen" und „Batterien" erzeugt.



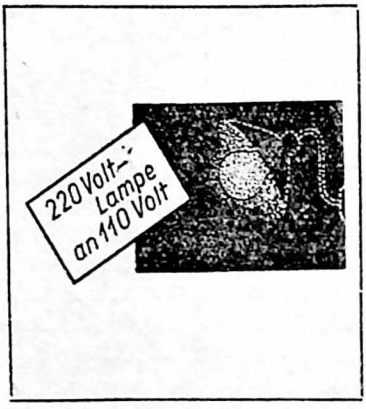
Die Größe des elektrischen Druckes – sprechen wir in Zukunft immer von der „Spannung" – wird in Volt gemessen (abg. „V"). Wie man z. B. den Dampfdruck mit einem Manometer mißt, so mißt man die Spannung des elektrischen Stromes mit einem „Voltmeter" (Spannungsmesser).



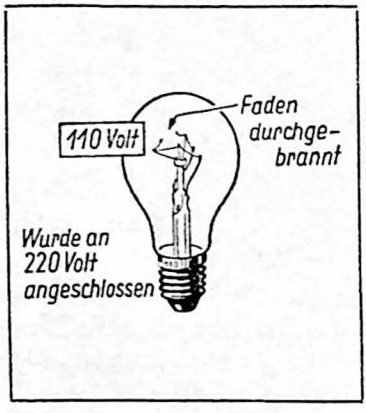
Eine Taschenlampenbatterie liefert nur eine kleine Spannung. Sie beträgt im allgemeinen 4,5 Volt.



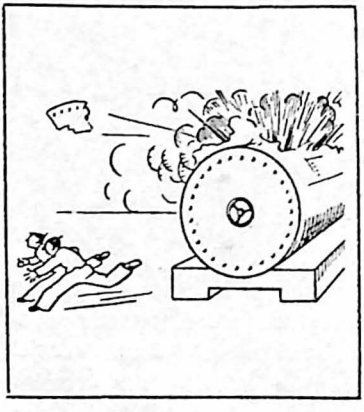
In unseren Lichtnetzen fließen Ströme mit einer Spannung von 220 Volt. (Bei älteren Anlagen beträgt die Spannung nur 110 Volt.)



Schließt man eine für 220 Volt bestimmte Glühlampe an das 110-Volt-Lichtnetz an, so leuchtet sie nur ganz schwach, der elektrische Druck ist zu gering, um sie zu normalem Arbeiten zu veranlassen.

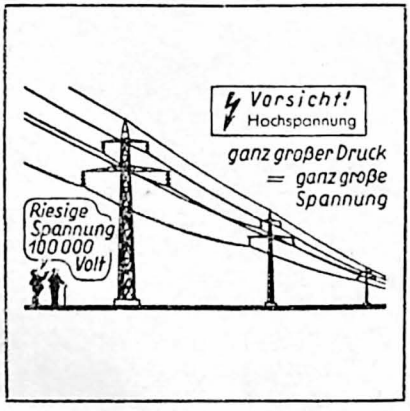


Schließt man umgekehrt eine für 110-Volt-Spannung hergestellte Glühlampe an das 220-Volt-Netz, so leuchtet sie kurz auf, dann ist es aus: der Glühfaden hat die starke Spannung nicht ausgehalten und ist durchgebrannt.



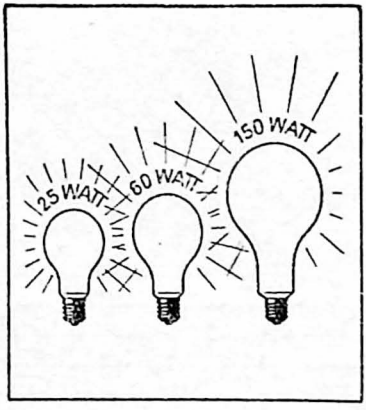
Auch der Dampfkessel platzt, wenn die Dampfspannung zu groß wird.

Es gibt noch viel höhere Spannungen als solche von 220 Volt; so verlangen die buntfarbigen Leuchtröhren der (Neon)-Lichtreklame 5000 Volt zu ihrem Betrieb.

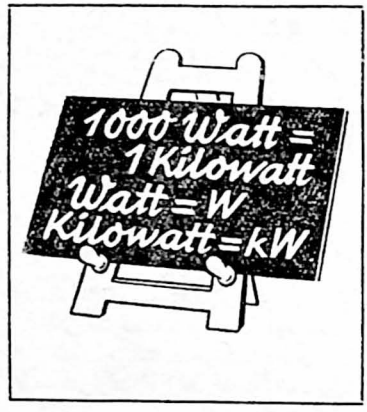


Durch die großen Überlandleitungen werden Ströme mit 110000 Volt und noch höheren Spannungen getrieben.

Jetzt wissen wir über die „Amperes" und „Volts" einigermaßen Bescheid. – Beim Kauf einer Glühlampe aber fragt kein Mensch nach den Amperes; der Verkäufer muß nur wissen, welche Spannung das Lichtnetz daheim führt, ob 110 oder 220 Volt. Und der Käufer verlangt eine 25-Watt-Lampe oder eine 60-Watt-Lampe oder sogar eine 100-Watt-„Birne".

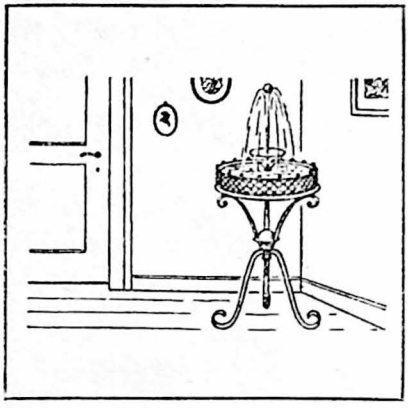


Der Begriff „Watt" taucht immer dann auf, wenn etwas über die „Leistung" dieses oder jenes elektrischen Gerätes ausgesagt werden soll. Eine 100-Watt-Lampe leistet mehr als eine 25-Watt-Lampe, sie ist viel heller, eine 150-Watt-Lampe leuchtet noch kräftiger. Das „Watt" ist eben eine Maßgröße für Leistungen.



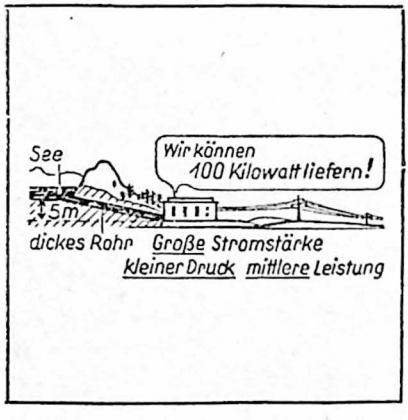
Große Leistungen werden nicht in Watt gemessen, bei ihnen rechnet man mit „Kilowatt"; 1000 Watt sind 1 Kilowatt, wie 1000 Gramm gleich 1 Kilogramm sind. – Watt wird „W" abgekürzt, Kilowatt „kW"; wohlgemerkt: man verwendet ein kleines k, wie beim Kilogramm (kg).

Um den Begriff der Leistung besser verstehen zu können, ein Vergleich. Im Bilde sind zwei Springbrunnen dargestellt, einmal steigt die Wassersäule nur bis zu einer geringen Höhe, denn der Druck, mit dem das Wasser aus der Öffnung getrieben wird, ist klein. Im zweiten Falle steigt die Säule hoch empor: der Druck ist groß. Es ist ohne weiteres klar: die Leistung ist im zweiten Falle größer als im ersten.

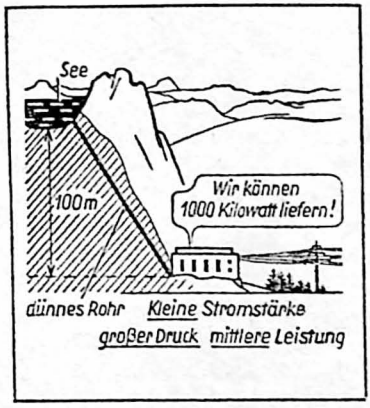


Aber die Leistung hängt nicht allein vom Wasserdruck ab, sondern auch von der fließenden Wassermenge. Ein kleiner wenig Wasser verbrauchender Zimmerspringbrunnen hat natürlich nicht die Leistung der großen Fontänen königlicher Gärten. (Druck und Wassermenge sind gering.)

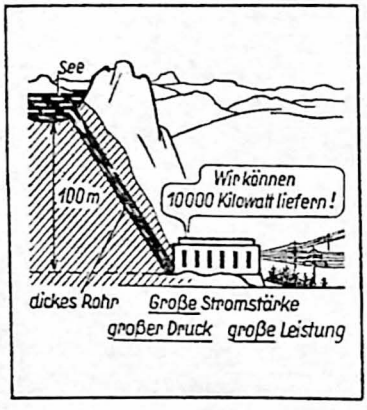
Weitere Vergleiche werden das bisher Gesagte noch verständlicher machen:
Von einem Stausee führt ein nicht sehr starkes Wasserrohr zu den Turbinen eines Kraftwerkes. Hier werden elektrische Stromerzeuger angetrieben. Das Gefälle ist nicht groß, mithin ist auch der Wasserdruck gering: entsprechend kann auch nur eine kleine Turbinenleistung erzielt werden. Im Endeffekt kann nur eine kleine elektrische Leistung abgegeben werden (10 kW).



Wird statt des geringen Wasserrohrquerschnittes ein größerer gewählt, so erhöht sich die Leistung (größere Stromstärke bei gleichen Druckverhältnissen: 100 kW Abgabe).

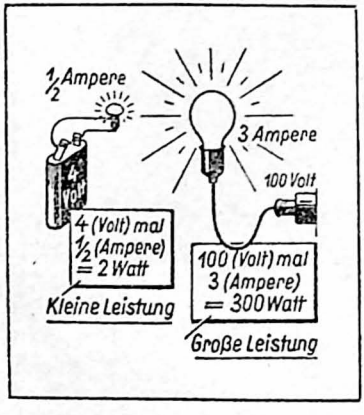


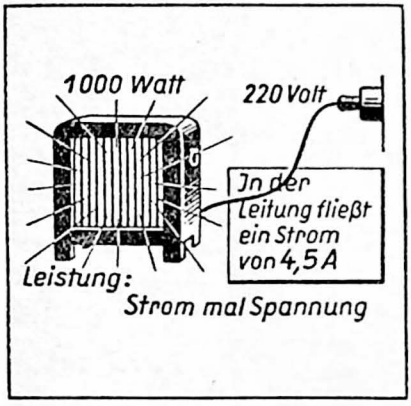
Die Leistung wird auch dann groß, wenn der Druck groß ist, wenn ein größeres Gefälle vorhanden ist. (Mittlere Stromstärke, großer Druck: abgegebene elektrische Leistung – 1000 kW.)



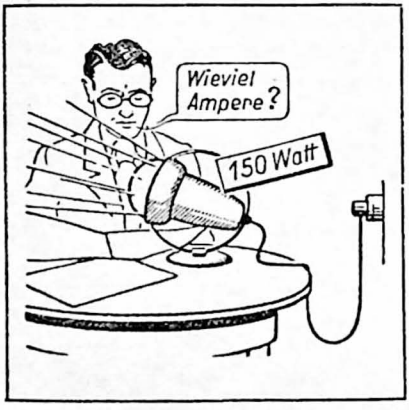
Die Leistung wird sehr groß, wenn Stromstärke und Druck groß sind (10000 kW Abgabe).

Man erkennt deutlich, daß die Leistung gleichzeitig von der Stromstärke und dem Druck bestimmt wird. Wie beim Wasser so beim elektrischen Strom: Größe der Stromstärke und Höhe der Spannung (Druck) ergeben im Zusammenwirken den Leistungswert. Praktisch errechnet man die elektrische Leistung, indem man Stromstärke (Ampere) und Spannung (Volt) miteinander multipliziert. Das Resultat wird in „Watt" oder „Kilowatt" angegeben. – Das stimmt genau bei Gleichstrom; bei Wechselstrom erniedrigt sich der Leistungswert meist etwas.



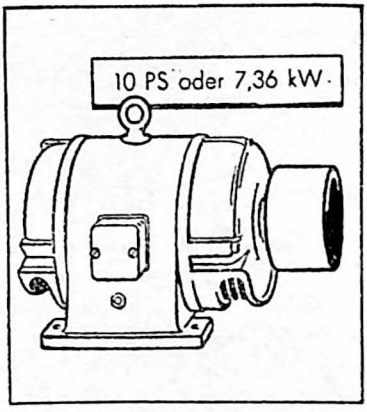


Durch die Heizdrähte eines Heizofens, der für ein 220-Volt-Netz bestimmt ist, fließt z. B. ein Strom von 4,5 Ampere. Die Leistung des Ofens beträgt 220 mal 4,5 oder rund 1000 Watt (1 Kilowatt).



Vom Infraphil-Strahler heißt es, daß er 150 Watt verbraucht. Er wird an das 220-Volt-Netz angeschlossen. Aus der Watt-Angabe kann man leicht errechnen, wie groß die Stromstärke ist, die durch die Heizspirale des Strahlers fließt: man braucht nur die Watt-Zahl durch die Spannung zu dividieren: 150 (Watt) dividiert durch 220 (Volt) ergibt eine Stromstärke von rund 0,7 Ampere!

Während die Elektrotechniker Leistungen in Watt oder Kilowatt angeben, ziehen die Maschinenbauer die Pferdestärke, das PS, als Leistungsmaß vor. Dabei sei angemerkt, daß ein Gaul kaum 1 PS zu leisten vermag.

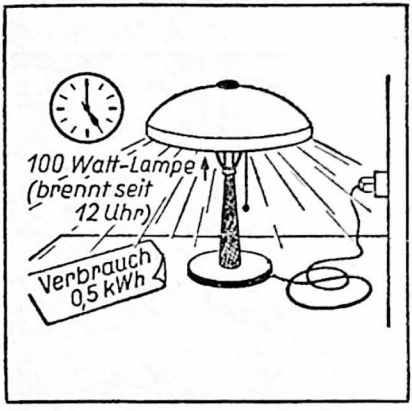


Wenn von Leistungswerten gesprochen wird, so darf man nicht etwa Watt oder Kilowatt gleich Pferdestärke setzen; das wäre grundfalsch, denn:

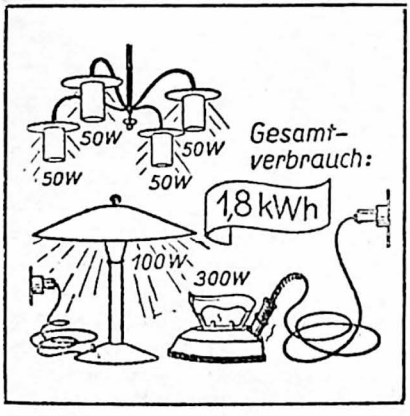
1 Kilowatt = 1,36 PS und
1 Pferdestärke = 736 Watt

Mit unserem Wissen um Watts und Kilowatts ist es nicht getan. Fragt uns z. B. jemand: „Was kostet der Betrieb dieser 1000-Watt-Lampe?", so möchten wir natürlich eine Antwort geben können. Wir erklären dem Kunden, daß es immer darauf ankomme zu wissen, wie lange die Lampe oder das elektrische Gerät in Betrieb ist, wie viele Watts oder Kilowatts in einer bestimmten Zeit verbraucht werden.

Die Elektrotechniker rechnen mit der Kilowattstunde, das ist die Leistung auf die Dauer einer Stunde. Die Elektrizitätswerke berechnen die Strompreise nach verbrauchten Kilowattstunden.



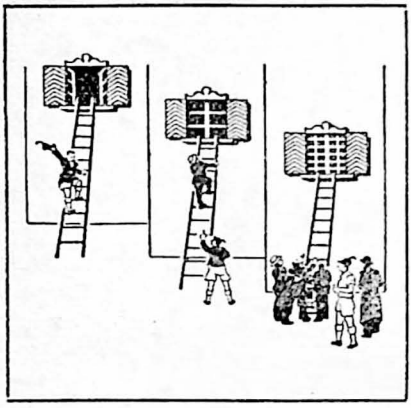
Bleiben wir bei der 1000-Watt-Lampe. Beträgt der Strompreis je Kilowattstunde 10 Pfennige, so wissen wir sofort: 1000 Watt (1 Kilowatt) eine Stunde lang aufgewandt, kosten nicht mehr und nicht weniger als 10 Pfennige. Brennt die Lampe 10 Stunden lang, dann ist für den Stromverbrauch während dieser Zeit 1 D-Mark zu bezahlen.
Eine 100-Watt-Lampe verbraucht im Zeitraum von 5 Stunden: 0,1 (kW) mal 5 (Stunden) gleich 0,5 Kilowattstunden. (Kilowattstunde wird kWh abgekürzt; h = Stunde.)



Sind in einer Wohnung mehrere Lampen oder elektrische Geräte gleichzeitig in Betrieb und will man wissen, welche Stromkosten entstehen, so verfährt man wie folgt: Man zählt zunächst die Leistungswerte der einzelnen Verbraucher zusammen. Handelt es sich z. B. um vier 50-Watt-Lampen im Speisezimmer (zusammen 200 Watt), um eine 100-Watt-Lampe im Arbeitszimmer und um ein 300-Watt-Bügeleisen in der Küche, so beträgt die Gesamtleistung 200 W + 100 Watt + 300 W = 600 Watt = 0,6 Kilowatt. Bei dreistündigem Betrieb ergeben sich 0,6 kW mal 3 Stunden gleich 1,8 Kilowattstunden (kWh). Bei einem 10-Pfennig-Strompreis (je Kilowattstunde) sind das 18 Pfennige

Zum Schluß dieses Kapitels eine zusammenfassende Tabelle:

	Wird gemessen in	Abkürzung
Stromstärke	Ampere	A
Spannung	Volt	V
Leistung (Gleichstrom)	Watt oder Kilowatt	W oder kW
Stromverbrauch	Kilowattstunden	kWh
Sehr kleine Stromstärken	Milliampere (tausendstel Ampere)	mA
Sehr kleine Spannungen	Millivolt (tausendstel Volt)	mV
Sehr große Spannungen	Kilovolt	kV

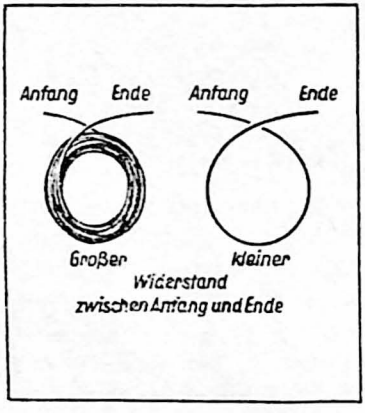


Kannst Du, lieber Leser, irgendein Geschehen nennen, bei dem kein Widerstand auftritt? Sicherlich nicht. Immer und überall sind Widerstände zu überwinden, manchmal sind sie kleiner, manchmal größer, manchmal unüberwindbar.

Fließt Wasser durch eine Leitung, so setzt sie dem Durchfluß einen bestimmten Widerstand entgegen. Ist der Widerstand groß, so kann nur wenig Wasser fließen, z. B. bei engen Rohren oder – wie im Bilde – bei einem verengten Schlauch.

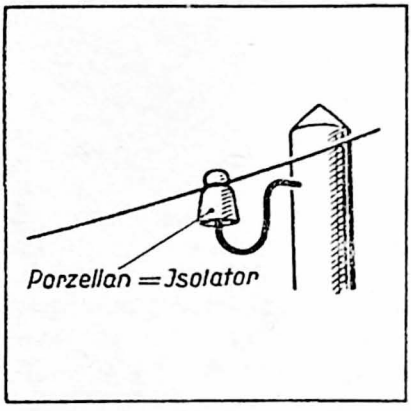
Bei kleinem Widerstand, z. B. starken Rohren, können große Wassermassen fließen.

Bei elektrischen Strömen ist es ähnlich, je größer der Leitungsquerschnitt ist, um so geringer ist der Widerstand.

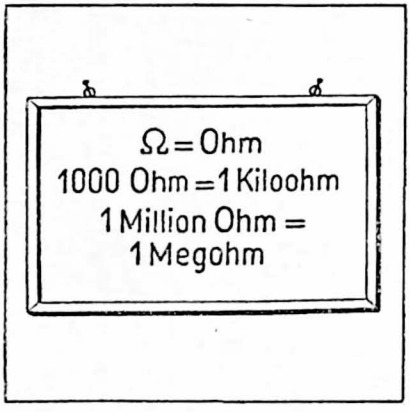


Nicht nur die Stärke einer Leitung bestimmt die Größe ihres Widerstandes, auch ihre Länge ist ein maßgebender Faktor. (Ein langer Weg macht mehr Mühe als ein kurzer.)

Bei elektrischen Strömen kommt ein dritter Faktor hinzu, das Leitungsmaterial. Es ist nicht gleichgültig, ob ein Strom z. B. durch einen Kupferdraht oder einen Eisendraht fließen soll. Kupfer bietet einen weitaus geringeren Widerstand als Eisen. Ein Merkwort für die Leitfähigkeit verschiedener Metalle ist die „elektrische Ka(t)ze", eine Katze ohne t. Die Metalle Kupfer, Aluminium, Zink und Eisen erscheinen hier in der Reihenfolge ihrer Leitfähigkeit: Kupfer bietet den geringsten Widerstand, Eisen den größten.



Papier, Glas, Porzellan, Gummi, Wolle, Seide und gewisse Lacke haben einen so gewaltig großen Widerstand für elektrische Ströme, daß sie diese überhaupt nicht hindurchlassen. Diese Materialien verwendet man deshalb als Isolierstoffe, mit denen man z. B die Leitungen, dort wo es erforderlich ist, umgibt, sie „isoliert". Blanke Drähte hängt man an „Isolatoren" aus Porzellan auf.



Der elektrische Widerstand wird in „Ohm" gemessen (abgekürzt mit dem griechischen Buchstaben Ω, sprich Omega, bezeichnet). Große Ohmwerte werden in „Kiloohm", d. h. in 1000 Ohm (abgekürzt kΩ), ganz große in „Megohm", d.h. in Millionen Ohm (abgekürzt MΩ), angegeben.

Ein Kupferdraht von 57 Meter Länge hat bei einem Querschnitt von 1 mm² einen Widerstand von 1 Ohm. Etwas mehr als einmal um den Äquator gelegt, hat der gleiche Draht einen Widerstand von 1 Megohm.
Zwischen den drei Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand, besteht eine ganz bestimmte Beziehung, sie sagt aus:
Die Stromstärke wird größer, wenn die Spannung wächst oder der Widerstandswert fällt.
Umgekehrt:
Die Stromstärke nimmt mit fallender Spannung ab, mit fallendem Widerstand zu!

Großer (Menschen)strom, weil „Spannung" groß

Man kann sich diese Gesetzmäßigkeit an Hand eines Vergleiches leicht merken:
Ein Fußballspiel zwischen zwei bedeutenden Fußballvereinen:
Die „Spannung" ist groß, der (Menschen-) Strom dann ebenso.

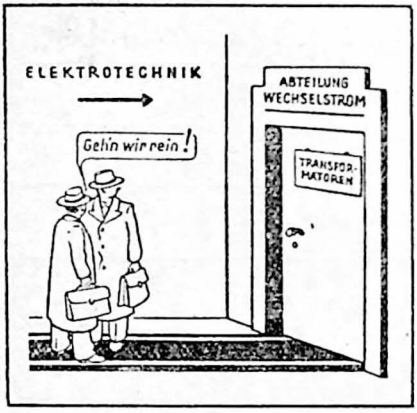
Kleiner (Menschen)strom weil „Spannung" gering

Findet das Spiel zwischen zwei ganz unbedeutenden Klubs statt, dann ist die „Spannung" gering, und ebenso der (Menschen-) Strom.

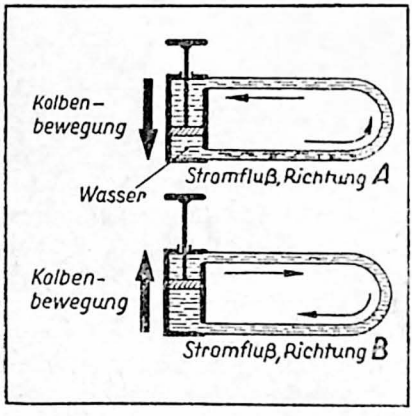
Kleiner (Menschen)strom, denn „Widerstand" groß

Ist der Eintrittspreis hoch, d. h. ist der dem (Menschen-) Strom entgegengesetzte Widerstand groß, dann kann der (Menschen-) Strom nur gering sein.

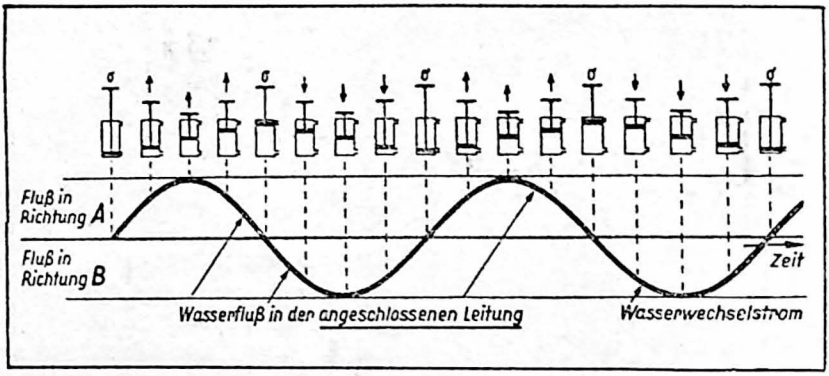
B) WECHSELSTROM



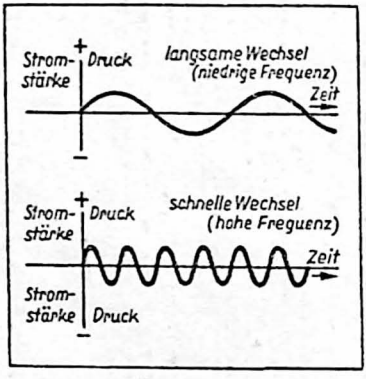
Wir sind dem „Wechselstrom" auf unserem Wege zwar schon begegnet, aber ohne daß wir Gelegenheit hatten, uns näher mit ihm zu beschäftigen. Auch diesmal streifen wir nur ein Teilgebiet; trotzdem werden wir langsam aber sicher das erforderliche Wissen aufnehmen.



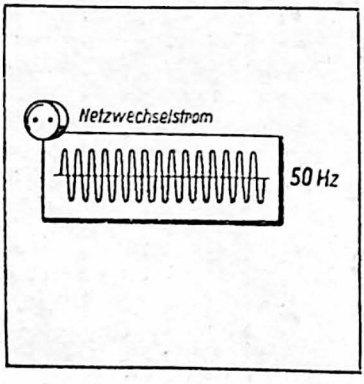
Der Wechselstrom ändert ständig seine Richtung, während der Gleichstrom seine Flußrichtung dauernd beibehält. Vergleichen wir wieder mit fließendem Wasser. Ein Wassergleichstrom strömt z. B. durch die Rohre der Wasserleitung. Einen Wasserwechselstrom könnten wir uns herstellen, wenn wir in einem Zylinder einen Kolben auf und ab bewegen: in den angeschlossenen Rohren tritt während der Kolbenbewegung ein Wasserwechselstrom auf.



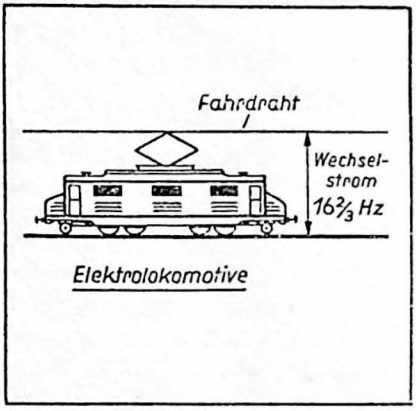
Je nach der Geschwindigkeit des Kolben-Auf-und-Abs sind die Stromwechsel langsamer oder schneller. Nehmen wir die Kurve des Wasserwechselstroms auf, dann ergibt sich das bekannte Bild eines Wellenzuges.



Bei langsamer Kolbenbewegung streckt sich die Kurve (geringe Frequenz), bei schneller Kolbenbewegung (höhere Frequenz) liegen die Wellenberge und Täler enger zusammen.

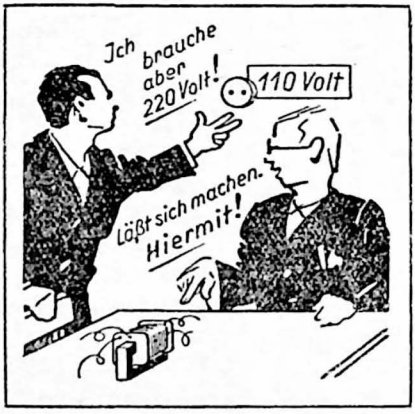


Der in den Lichtnetzen fließende elektrische Wechselstrom hat in der Sekunde 50 Wellenberge und 50 Wellentäler. Seine Frequenz beträgt 50 Hertz. Diese Frequenz-Norm wird von sämtlichen Elektrizitätswerken eingehalten.

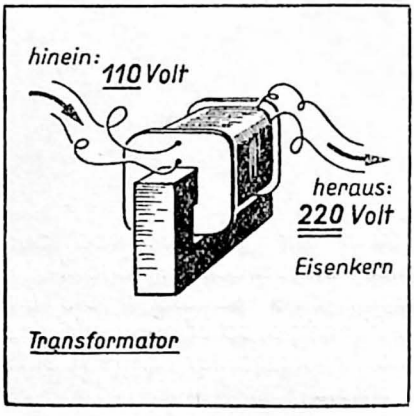


Elektrolokomotive

Eine Ausnahme bildet der Wechselstrom der zum Betriebe elektrischer Bahnen erzeugt wird. Aus bestimmten Gründen gibt man ihm eine Frequenz von nur 16⅔ Hz.

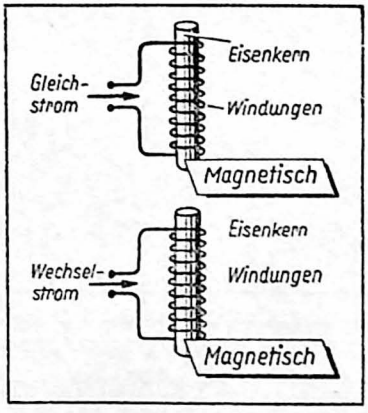


Der elektrische Wechselstrom hat gegenüber dem elektrischen Gleichstrom manche Vorteile. Man kann ihn z. B. leicht von einer niedrigen Spannung auf eine höhere bringen oder umgekehrt. Mit Gleichstrom ist das nur auf umständlichen Wegen möglich.

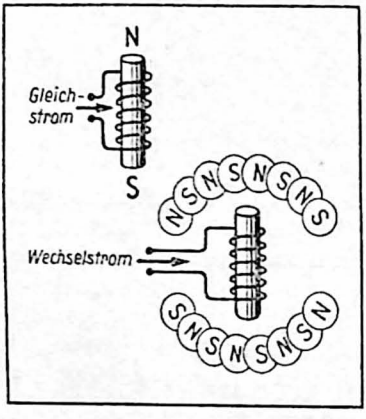


Transformator

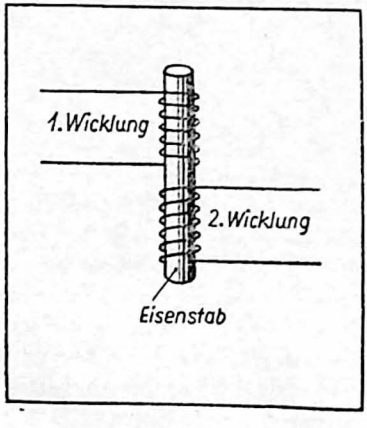
Das „Umspannen" von einem Volt-Wert auf einen anderen wird mit einem „Umspanner" oder „Transformator" vorgenommen. Diese elektrischen Geräte bestehen in ihrer einfachsten Form aus zwei voneinander getrennten Wicklungen, die um einen Eisenkern (weiches Eisen) gelegt sind.



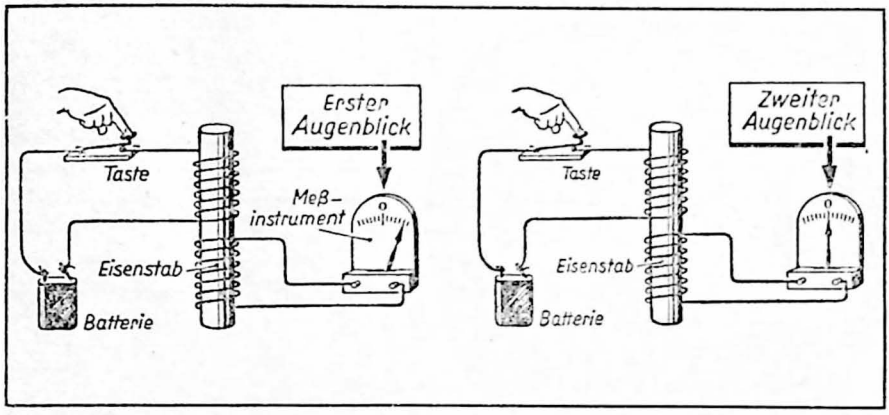
Versuchen wir die Vorgänge beim „Umspannen" oder „Transformieren" zu verstehen. Ein Eisenstab wird magnetisch, wenn wir ihn mit einigen Drahtwindungen umgeben, durch die wir Strom schicken. Dabei ist es einerlei, ob wir Gleichstrom oder Wechselstrom verwenden.



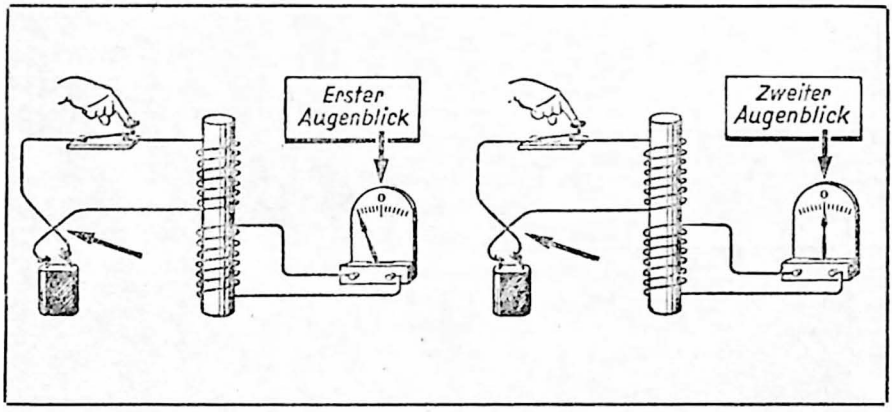
Wohl gibt es einen Unterschied: bei Gleichstrom entsteht an dem einen Stabende ein Nordpol, am anderen ein Südpol. Bei der Magnetisierung mit Wechselstrom ändert sich die Polarität ständig (entsprechend der Wechselstromfrequenz).



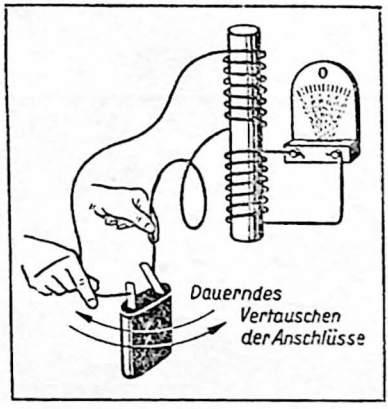
Wickeln wir getrennt von den zuerst angebrachten Drahtwindungen eine weitere Spule um den Eisenstab, so können wir eine Reihe interessanter Experimente ausführen.



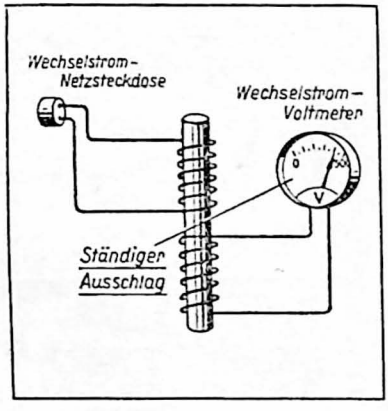
Wir schließen an die Enden der zweiten Wicklung ein Meßinstrument an und schicken Gleichstrom durch die erste Wicklung. Das Instrument zeigt durch Ausschlagen der Nadel einen Stromfluß an: die Nadel geht aber sofort wieder in die Ruhelage zurück (Null-Lage = senkrechte Nadelstellung).



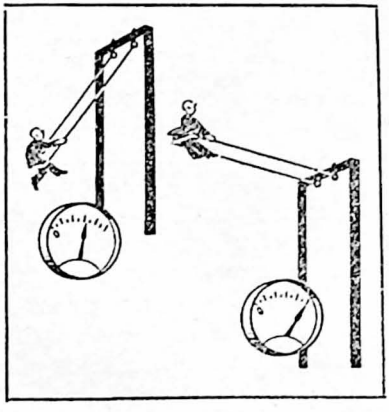
Tauschen wir die Anschlüsse an der Batterie um und verbinden wir das Drahtende, das vorher am Pluspol lag, mit dem Minuspol der Batterie, während wir das andere vom Minuspol an den Pluspol legen, so schlägt das Instrument beim Tastendruck nach der anderen Seite hin aus. Aber auch nur für einen Augenblick: die Nadel geht wie bei dem ersten Versuch sofort wieder in die Nullstellung zurück.



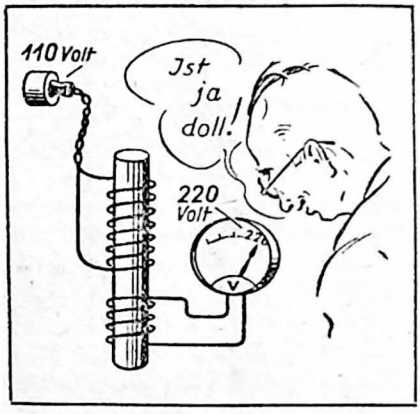
Wir könnten die Nadel des Instrumentes in ständiger Hin- und Herbewegung halten, wenn wir die Anschlüsse an der Batterie dauernd miteinander vertauschen würden. Wir würden dann nämlich einen ständig seine Richtung wechselnden Stromfluß hervorrufen.



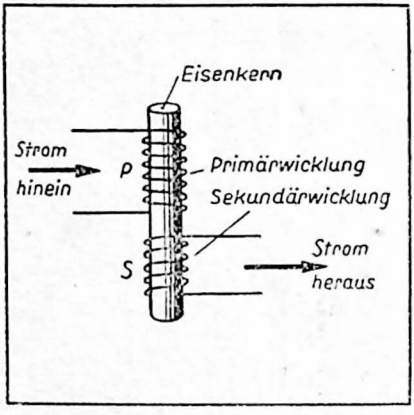
Durch diese Überlegung kommen wir automatisch auf den Gedanken, an Stelle von Gleichstrom Wechselstrom durch die erste Wicklung zu schicken. Die Nadel des Instrumentes, das mit der zweiten Wicklung verbunden ist, müßte dauernd pendeln – wenn, ja wenn es die schnellen Wechsel mitmachen könnte. Aber das benutzte Gleichstrom-Meßinstrument ist dazu viel zu träge. Wir benutzen daher ein für das Messen von Wechselströmen oder Wechselspannungen bestimmtes Instrument, das die Ströme oder Spannungen durch ruhigen Ausschlag unbeeinflußt durch die schnellen Stromwechsel anzeigt.



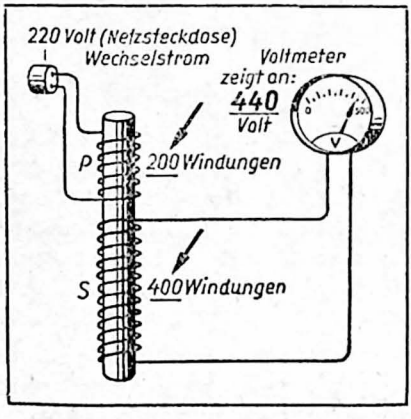
Man könnte ein derartiges (Wechselstrom-) Meßinstrument mit einer Anzeigevorrichtung vergleichen, die an einer Schaukel angebracht erkennen läßt, daß die Schaukel in Betrieb ist und zugleich wie stark die Schaukelbewegung ist.



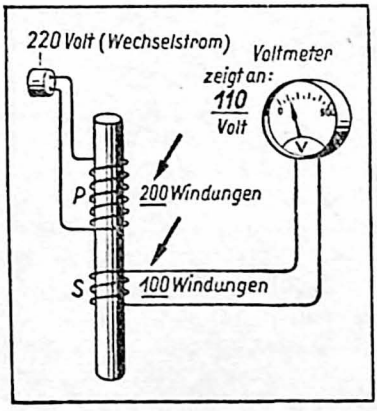
Jedenfalls: Wir haben ein solches Instrument für unsere Experimente zur Verfügung, und zwar ein Wechselstrom-Voltmeter, das wir an die zweite Wicklung angeschlossen haben. Besteht die erste Wicklung beispielsweise aus 100 Windungen und die zweite aus 200 Windungen, dann machen wir die merkwürdige Beobachtung, daß das Voltmeter 220 Volt anzeigt, obwohl die erste Wicklung an das 110-Volt-Wechselstrom-Netz angeschlossen wurde.



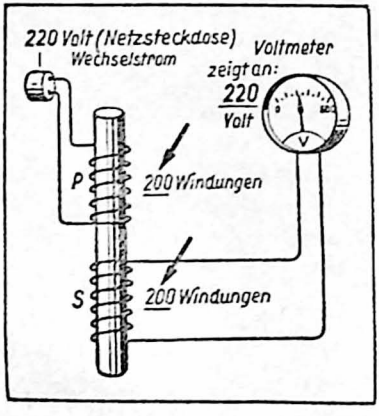
Der Elektrotechniker bezeichnet die erste Wicklung, in die Strom geschickt wird, mit „Primärwicklung" (P), die zweite mit „Sekundärwicklung" (S) und spricht von der „Primärseite" und der „Sekundärseite" des Transformators (oder Umspanners).



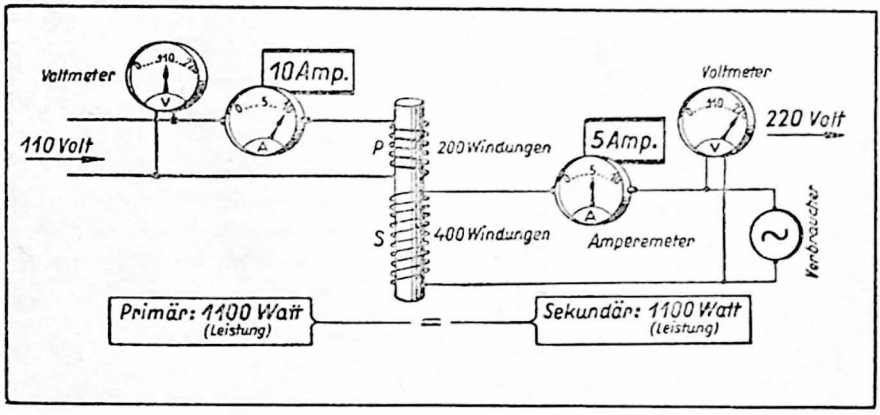
Wir sahen, daß sich die Spannung auf der Sekundärseite um das Doppelte erhöht, wenn die Sekundärwicklung doppelt soviel Windungen aufweist als die Primärwicklung. Bei 220 Volt primär ergeben sich bei diesen Wicklungsverhältnissen 440 Volt sekundär, bei 50 Volt primär 100 Volt sekundär usw.



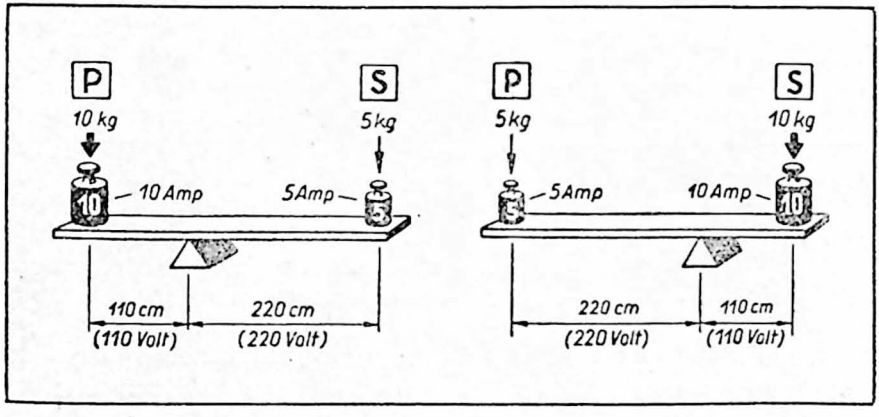
Machen wir einen weiteren Versuch und wickeln auf den Eisenstab primär 200 Windungen und sekundär 100 Windungen auf. Verbinden wir die Primärwicklung mit dem 220-Volt-Wechselstrom-Netz, dann zeigt der Spannungsmesser an den Enden der Sekundärwicklung 110 Volt an, also eine halb so hohe Spannung als jene, die an den Transformator gelegt wurde.



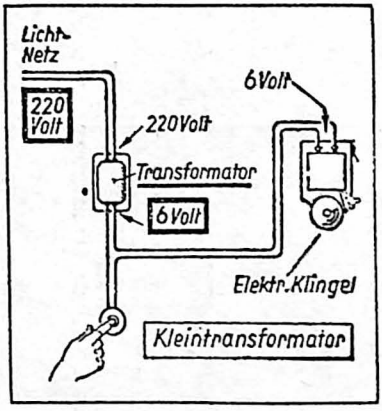
200 Windungen primär und 200 Windungen sekundär ergeben auf der Sekundärseite eine Spannung der gleichen Höhe, wie die der angelegten. Das „Übersetzungsverhältnis", wie der Techniker sich ausdrückt, ist in diesem Fall 1 zu 1. Je nach dem Verhältnis der Windungszahlen ist es 1 zu 2 oder 1 zu 5 oder 2 zu 1 oder 4 zu 1 usw.



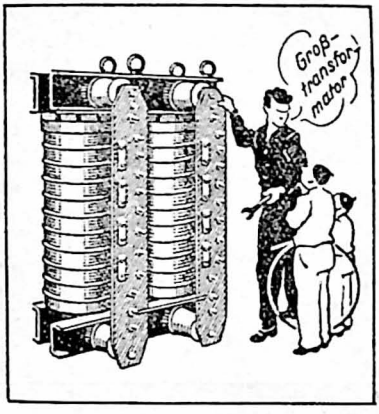
Sprachen wir bislang nur von den Spannungen, so müssen wir uns jetzt auch um die Stromstärken der Ströme kümmern. Sie verhalten sich bei der Transformation umgekehrt wie die Spannungen. Bei einer durch den Transformator hervorgerufenen Spannungserhöhung tritt eine dem Übersetzungsverhältnis entsprechende Erniedrigung der Stromstärke auf. Bei 110 Volt und 10 Ampere primär mißt man sekundär 220 Volt und 5 Ampere.



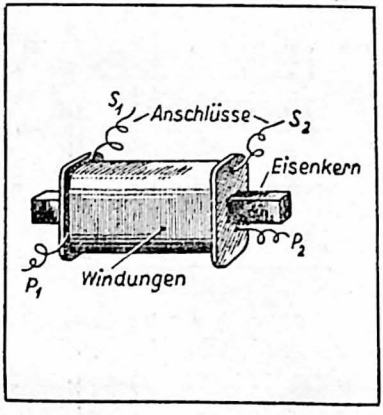
In einem mechanischen Vergleich ist das so wie bei einem Hebel. Ist der eine Hebelarm doppelt so lang wie der andere, dann ist Gleichgewicht vorhanden, also wenn bei P das doppelte Gewicht drückt wie bei S, und umgekehrt.



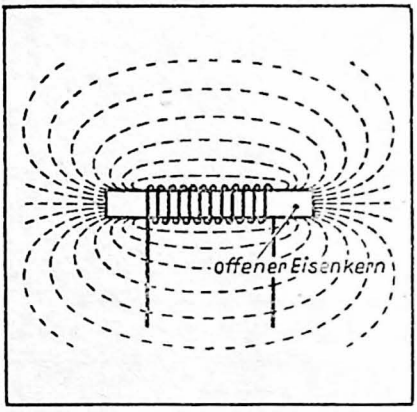
Transformatoren werden für alle möglichen Zwecke hergestellt. Kleinere Ausführungen finden zahlreiche Anwendung in der Rundfunktechnik. Wir werden später sehen wo und wann. In vielen Haushalten wird der Klingeltransformator benützt, der die hohe Netzspannung von z. B. 220 Volt auf die kleine Spannung von 4 oder 6 Volt herabsetzt (Abwärts-Transformator).



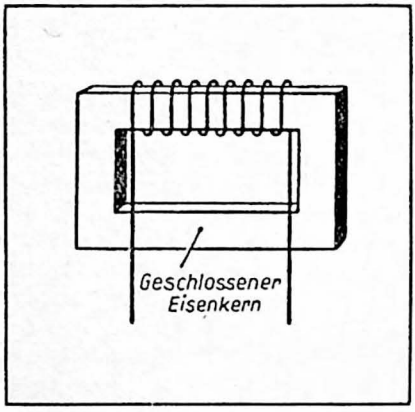
In der Elektrotechnik finden u. a. Riesentransformatoren Verwendung, die zum Herauf- oder Herabsetzen großer Spannungen dienen. Z. B. von 3000 Volt auf 30000 Volt oder umgekehrt.



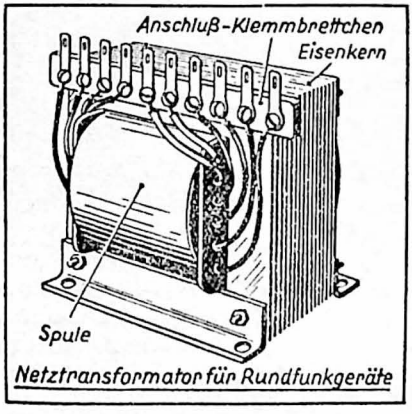
Wie aus den letzten Zeichnungen hervorgeht, sieht ein praktisch ausgeführter Transformator anders aus, als er gelegentlich unserer Versuchsanordnungen dargestellt wurde. Die Wicklung wird in Form sauber ausgeführter und gut isolierter Spulen auf den Eisenkern geschoben. Meistens werden die Primär- und Sekundärwindungen übereinander gewickelt; die Enden der Wicklungen werden aus der Spule herausgeführt.



Elektrisch bessere Verhältnisse als sie bei den Versuchs-Transformatoren vorliegen, werden erzielt, wenn man einen „geschlossenen" Eisenkern verwendet. Beim „offenen" Eisenkern verlieren sich die magnetischen Kraftlinien, auf die es sehr ankommt, nutzlos im Raum

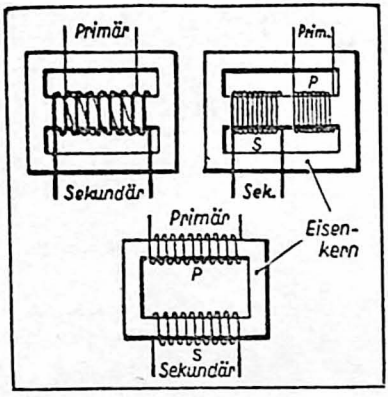


Man schließt deshalb den „magnetischen Fluß"in derWeise, daß man dem Eisenkern z.B. eine Form gibt, wie sie das Bild erkennen läßt.

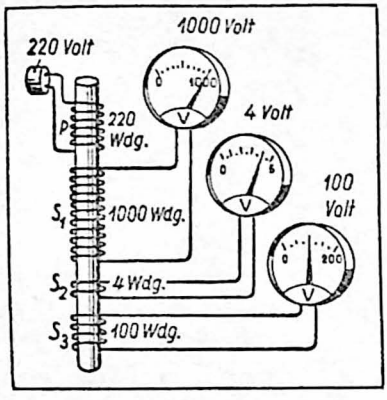


Netztransformator für Rundfunkgeräte

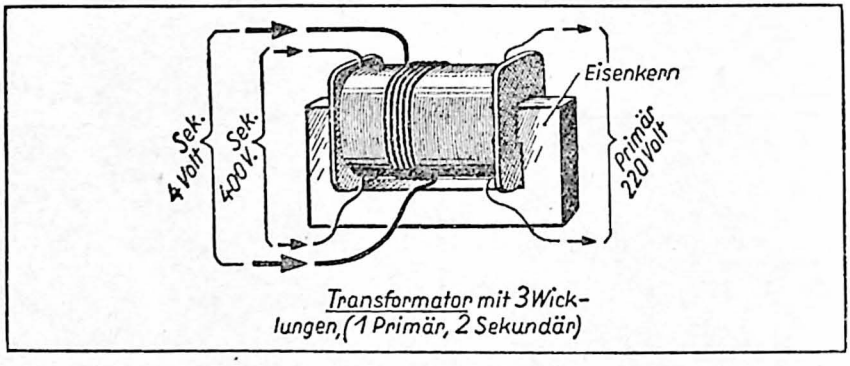
In der praktischen Ausführung sieht das dann so aus, wie hier gezeigt (Netztransformator für Rundfunkgeräte).



Primär- und Sekundärwicklungen können übereinander oder auch nebeneinander und schließlich auch getrennt auf zwei Schenkel gewickelt werden.

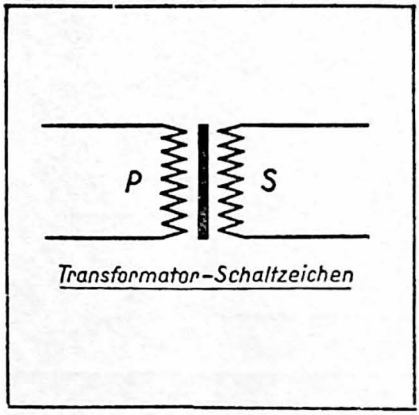


Einem Transformator kann man sekundärseitig mehrere Spannungen entnehmen, wenn man z. B. mehrere Sekundärwicklungen (S_1, S_2 und S_3) auf den Eisenkern gibt. Wieder verhalten sich die Sekundärspannungen zur Primärspannung wie die Windungszahlen zueinander.



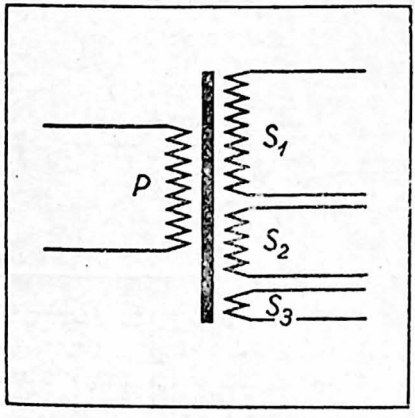
Transformator mit 3 Wicklungen, (1 Primär, 2 Sekundär)

In den Wechselstrom-Rundfunkgeräten finden Kleintransformatoren Verwendung. Hier müssen mehrere Spannungen zur Verfügung stehen. Wegen der größeren Stromstärke, die in den Kreisen mit kleinen Spannungen auftreten, verwendet man für diese Wicklungen stärkeren Draht.

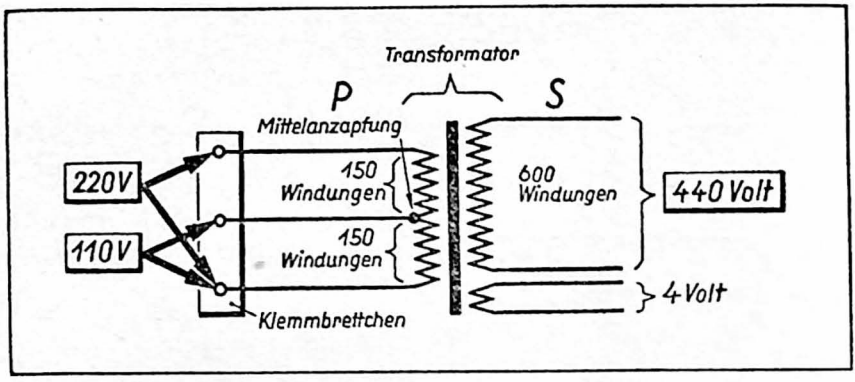


Transformator-Schaltzeichen

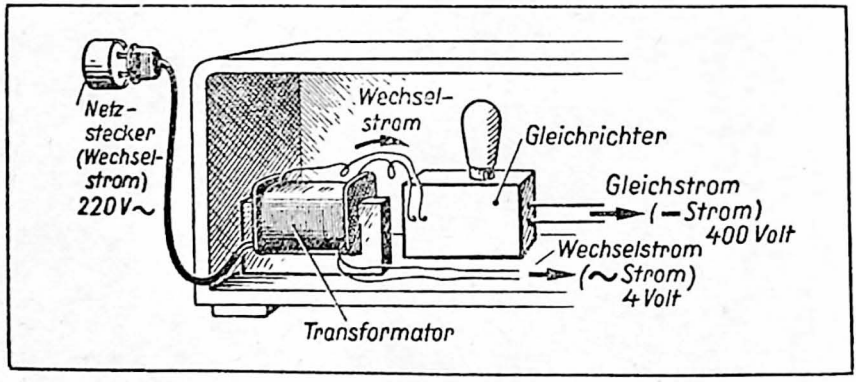
In „Schaltungen" stellt man die Transformatoren ganz einfach dar, durch Zickzacklinien und einen Strich zwischen die so gekennzeichneten Primär- und Sekundärwicklungen, der den Eisenkern andeuten soll.



Entsprechend geht man vor, wenn z.B. mehrere Sekundärwicklungen vorhanden sind.

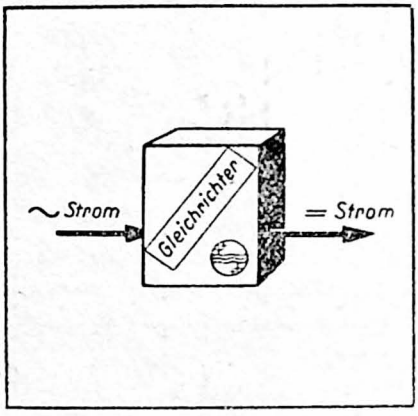


In den Rundfunkgeräten wird der Netzstrom dem „Netztransformator" direkt zugeführt. Er muß deshalb so konstruiert sein, daß er sowohl an 110-Volt-Netze als auch an 220-Volt-Netze angeschlossen werden kann. Dabei müssen die sekundärseitig erzeugten Spannungen die gleichen bleiben. Um das zu erreichen, zapft man für 220 Volt bemessene Primärwicklung in der Mitte an und führt einen Anschluß heraus. Wird die halbe Wicklung an 110 Volt Netzspannung gelegt, dann ändert sich an den Spannungen auf der Sekundärseite nichts. Nehmen wir für 220 Volt 300 Windungen Primär an. Sollen in einer der Sekundärwicklungen 440 Volt erzeugt werden, dann bedarf es hier 600 Windungen. Übersetzung: 1:2. — Bei 110 Volt muß die Übersetzung 1:4 sein, wenn 440 Volt sekundärseitig herauskommen sollen; das wäre bei der halben primären Windungszahl mit 150 der Fall. Durch die einfache Mittelanzapfung wird das Ziel auf einfache Weise erreicht.

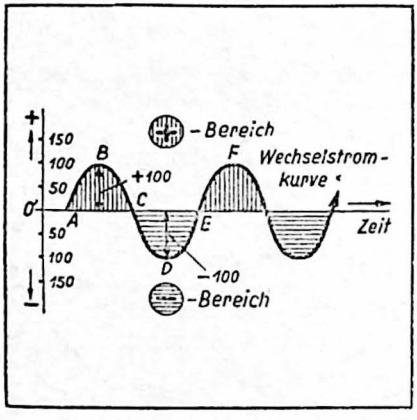


Aber die verschiedenen Arbeitsstufen der Rundfunkgeräte verlangen Gleichspannungen. Man muß deshalb den umgespannten Wechselstrom wieder in Gleichstrom verwandeln. Wie man dabei vorgeht, soll im nächsten Abschnitt gezeigt werden.

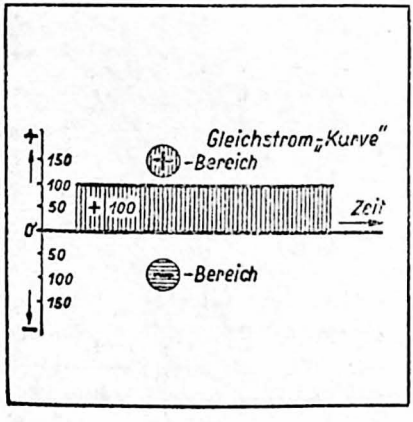
C) GLEICHRICHTUNG



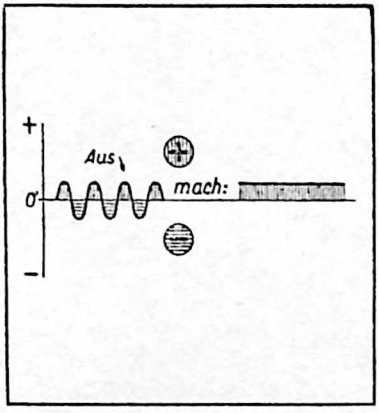
Gleichrichter dienen dazu, aus Wechselstrom Gleichstrom zu machen.



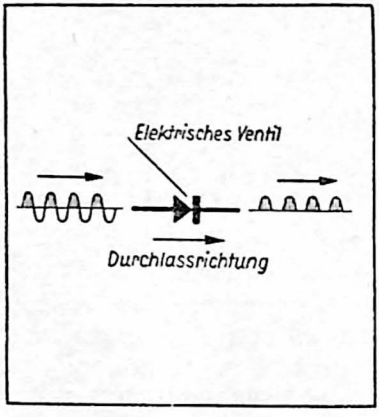
Die Wechselstromkurve verläuft einmal im positiven Bereich, das andere Mal im negativen: der Strom pendelt zwischen Plus und Minus hin und her.



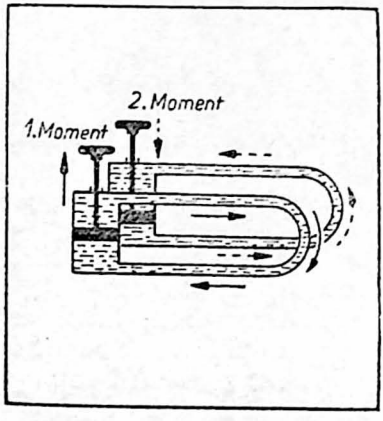
Dagegen verläuft der Gleichstrom nur im positiven oder im negativen Bereich und behält – da er seine Richtung nicht ändert – seinen Spannungswert stets bei. Bildlich dargestellt ist seine „Kurve" also eine gerade Linie, die z. B. angibt, daß der Strom bei einer Spannung von 100 Volt mit gleichbleibendem Wert fließt.



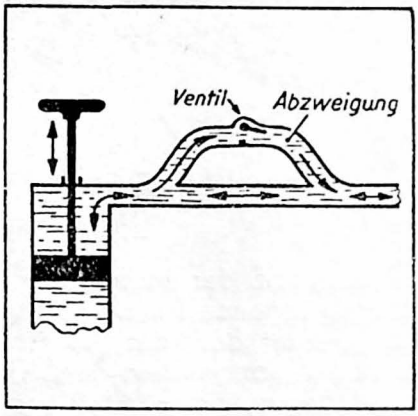
Beim Gleichrichter soll also aus der Wechselstromkurve im Endeffekt die Gleichstromkurve entstehen.



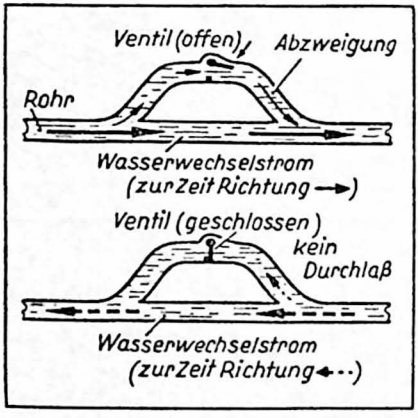
Verschiedene Hilfsmittel stehen zur Verfügung. Man verfährt grundsätzlich so, daß man ein elektrisches Ventil in den Wechselstromkreis einschaltet, das z. B. nur positive Stromanteile durchläßt. Wie ein solches Ventil in der Zeichensprache aussieht, veranschaulicht die Zeichnung. Die Dreieckspitze gibt die Durchlaßrichtung an.



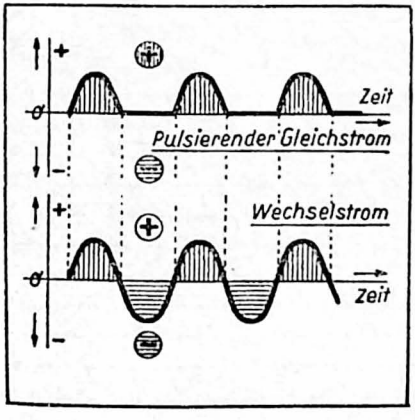
Im Vergleich dazu stellen wir uns wieder einen Wasserstromkreis mit wechselnder Flußrichtung vor.



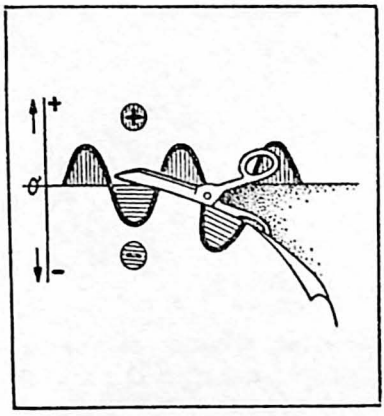
Von der Hauptleitung zweigt eine Nebenleitung ab, in der Gleichstrom fließen soll.



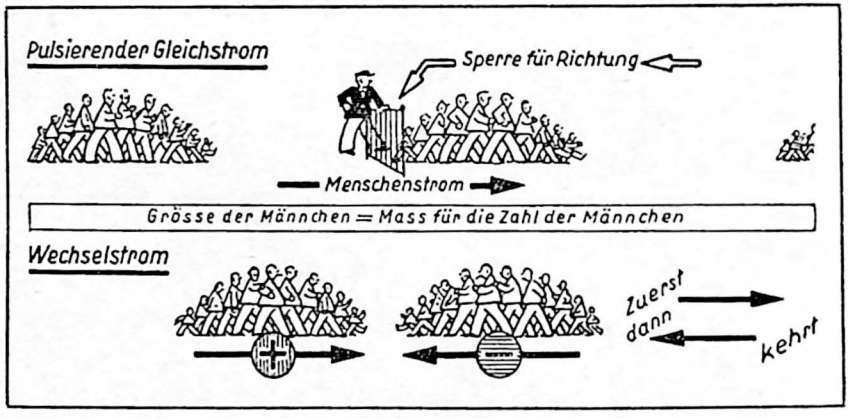
Um das zu erreichen, bedarf es eines Ventils in der Nebenleitung, das sich immer dann öffnet, wenn das Wasser von links kommt und das sich schließt, wenn es von rechts kommt. Das Ventil sorgt mithin dafür, daß in der Nebenleitung nur Strom in einer Richtung fließen kann: Gleichstrom.



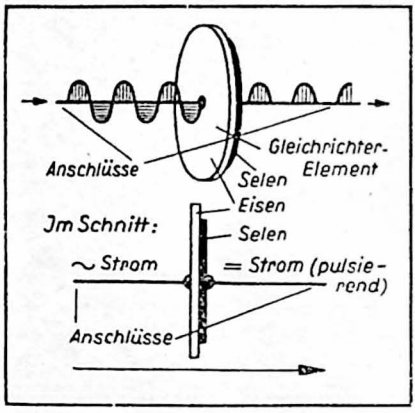
Würde man die Kurve dieses Stromflusses in der Nebenleitung aufnehmen, so ergäbe sich die in der Zeichnung angegebene Form. Darunter ist die Kurve des Wasserwechselstromes in der Hauptleitung angegeben.



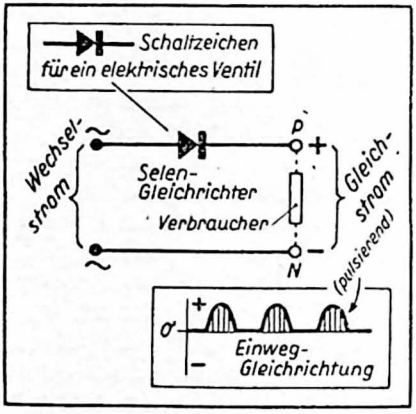
Man sieht, daß der unterhalb der Null-Linie liegende Teil der Wechselstromkurve bei der Gleichstromkurve fortgefallen ist, er wurde „abgeschnitten".



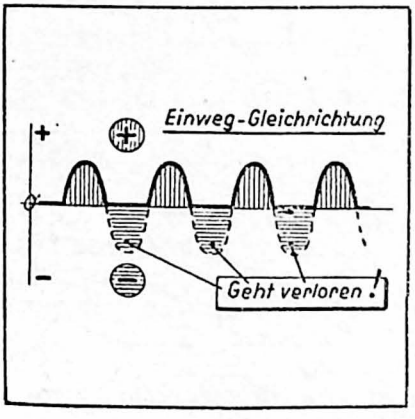
Man wird einwerfen, daß der resultierende Gleichstrom durchaus nicht gleichmäßig verläuft, daß er starken Schwankungen unterworfen ist. Aber obwohl Schwankungen vorhanden sind, die Richtung des Stromes bleibt stets die gleiche. Man nennt einen derartigen in seinen Werten schwankenden Gleichstrom einen „pulsierenden" Gleichstrom. Er ist einem Menschenstrom zu vergleichen, der sich wohl in einer Richtung bewegt, bei dem jedoch einmal viele, einmal wenige Menschen, dann wieder viele usw. vorbeikommen.



in der Elektrotechnik benutzt man zur Wandlung des Wechselstromes in Gleichstrom u. a. Trokkengleichrichter, z. B. den Selengleichrichter. (Selen – sprich selén ist ein chemisches Element mit metallischen Eigenschaften.) Dieser Gleichrichter besteht aus einer Eisenplatte und einer Selenschicht. Die Kombination läßt elektrischen Strom nur in einer Richtung durch und zwar in der Richtung Eisen – Selen.



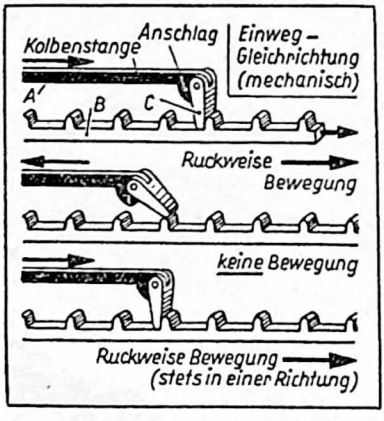
Wird dieses elektrische Ventil in einen Wechselstromkreis geschaltet, dann wird eine Halbwelle des Wechselstromes unterdrückt. Ergebnis der Gleichrichtung ist ein pulsierender Gleichstrom. (Kurve im unteren Teil des Bildes.)

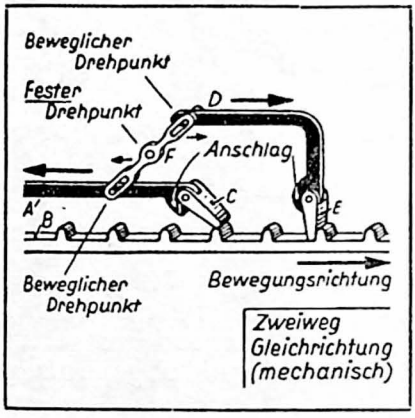


Die eine Wechselstromhälfte geht bei diesem Verfahren, das man „Einweg-Gleichrichtung" nennt, verloren.

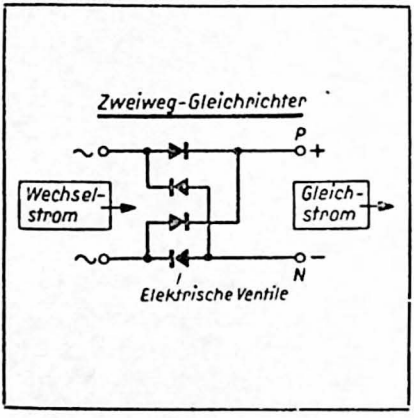
Ist es möglich, die untere Hälfte der Gleichstromkurve bei der Gleichrichtung nach oben hin „umzuklappen", dann ist die Stromausnützung natürlich besser.

Mechanische Vergleiche werden uns diese „Zweiweg-Gleichrichtung" verständlich machen. — Stellen wir uns eine Kolbenstange A vor, die sich hin und her bewegt. An ihrem vorderen Ende ist ein nach rechts hin beweglicher Dorn C angebracht, der bei rechtsgerichteter Kolbenbewegung auf einen Zahn der Stange B drückt. Die Zahnstange wird mithin nach rechts geschoben. Bei der Rückwärtsbewegung der Kolbenstange A schleift der Dorn C nach oben klappend über den folgenden Zahn der jetzt stillstehenden Stange weg, um bei erneuter Vorwärtsbewegung die Stange B wieder ein Stück weiter zu drücken. Aus der Kolben-Hin-und-Her-Bewegung (Wechselstrom) ist eine ruckweise Zahnstangenbewegung in einer Richtung geworden (pulsierender Gleichstrom). Dieser Vergleich entspricht der Einweg-Gleichrichtung: eine Kolbenbewegung bleibt unausgenützt.

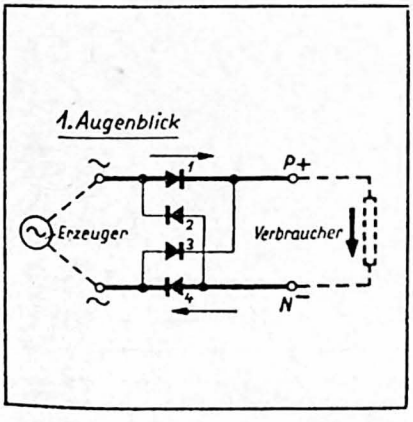




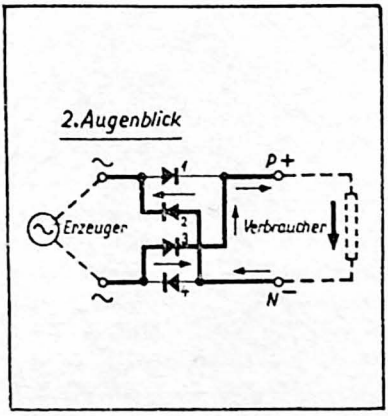
Bringen wir eine Zusatzeinrichtung an der Kolbenstange A an, wie sie das Bild zeigt, dann gelingt es, beide Bewegungsrichtungen auszunutzen und in einer gleichgerichteten Bewegung (der Zahnstange) zu erhalten. Eine „Zweiweg-Gleichrichtung" ist erreicht. Kurz zur Erläuterung der Mechanik: Während der Dorn E nach rechts drückt, geht C zurück, um bei geänderter Bewegungsrichtung auf den nächsten Zahn zu drücken. Dabei schleift der Dorn E rückwärts, um kurz darauf wieder vorwärtsdrückend einzugreifen, usw.



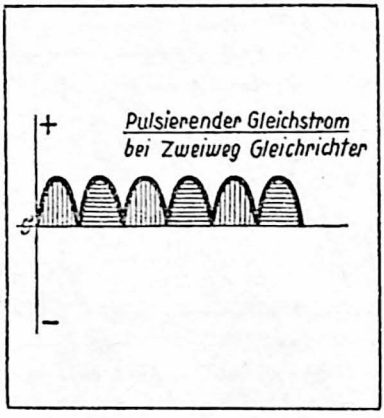
Eine entsprechende Schaltung, bei der vier elektrische Ventile Verwendung finden, sieht so aus, wie hier in der Skizze angegeben.



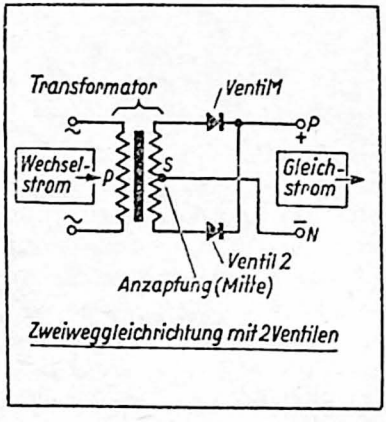
Verfolgen wir den Stromverlauf: kommt eine positive Welle des Wechselstromes an, dann wird sie in der Weise durch die Ventile 1 und 4 gelassen, wie es die Pfeile kennzeichnen. Stromfluß nur in e i n e r Richtung (durch die stark ausgezogenen Leitungsteile).



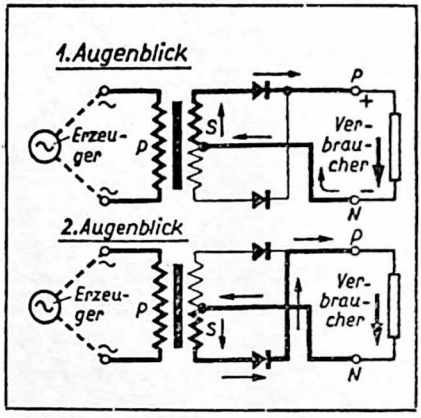
Im nächsten Augenblick kommt die negative Halbwelle des Wechselstromes an: Stromverlauf in Pfeilrichtung durch die Ventile 3 und 2 (durch die stark ausgezogenen Leitungsteile). An den Klemmen P und N, an die der Verbraucher angeschlossen ist, kann Gleichstrom abgenommen werden.



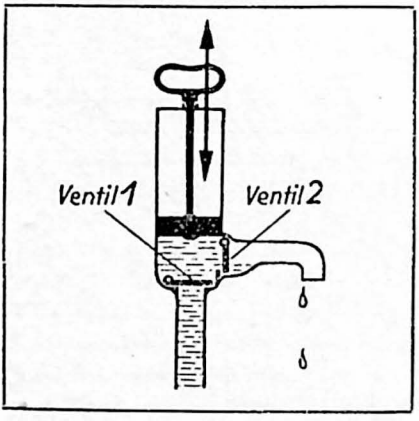
Zweiweggleichrichtung liefert die doppelte Anzahl Halbwellen. Dadurch leichtere Beseitigung der Pulsation.



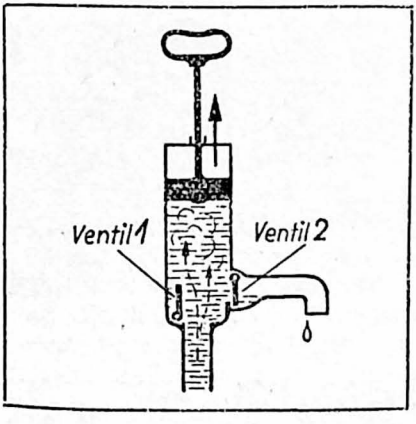
Bei Verwendung eines Transformators kommt man mit zwei Ventilen aus, nämlich dann, wenn man die Sekundärspule in der Mitte anzapft.



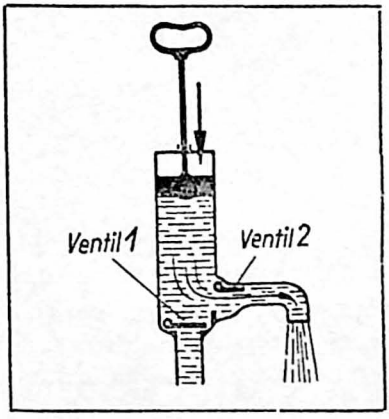
Der Stromverlauf in zwei aufeinanderfolgenden Augenblicken geht aus nebenstehenden Zeichnungen hervor.



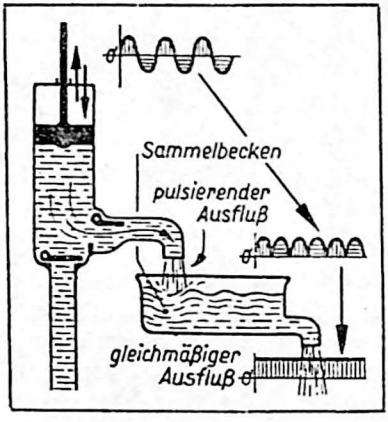
Es kommt uns darauf an, die immer noch vorhandenen Pulsationen möglichst zu unterdrücken. Dazu noch einmal ein Wasservergleich, der mit einer Pumpe.



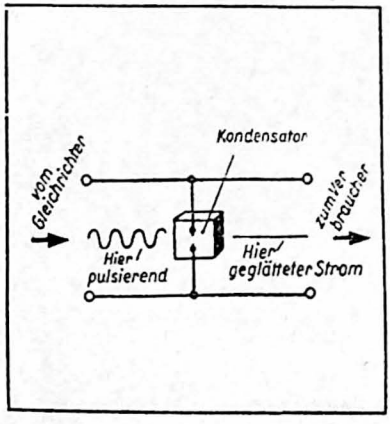
Wird der Kolben im Zylinder der Pumpe nach oben bewegt, dann öffnet sich Ventil 1, Wasser strömt in den Zylinder, Ventil 2 bleibt geschlossen.



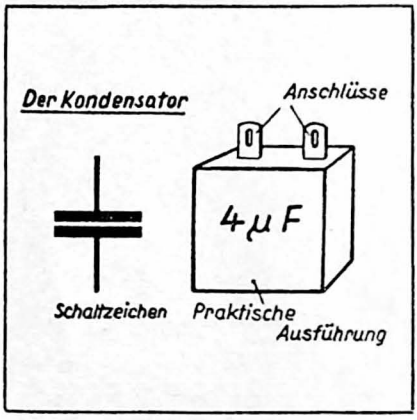
Wird der Kolben im Zylinder abwärts gedrückt, dann schließt sich Ventil 1, während sich Ventil 2 öffnet und Wasser aus dem Hahn ausströmt.



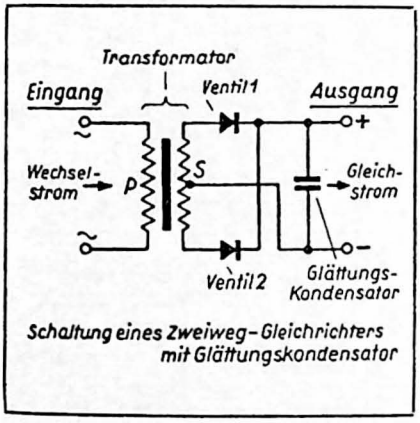
Wenn der Kolben fortdauernd auf und ab bewegt wird, fließt Wasser ruckweise aus dem Hahn aus: pulsierender Wassergleichstrom. — Bringt man aber ein Sammelbecken unter dem Hahn an, dann kann man einen gleichmäßigen Wasserfluß erreichen: das ruckweise ausströmende Wasser wird erst gesammelt und fließt dann zum „Verbraucher".



Ins Elektrische übertragen, müssen wir einen „Kondensator" verwenden, der bei den Stromstößen Elektrizität aufnimmt, um die angesammelte Elektrizitäts-Menge während der Strompausen wieder abzugeben.

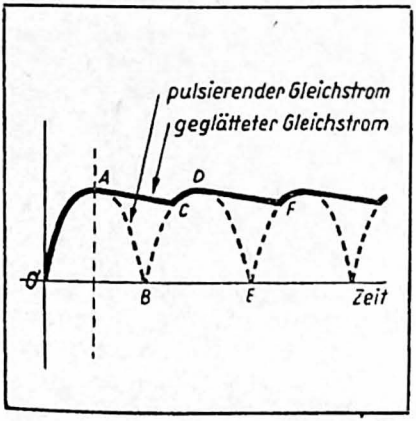


Wie derartige Kondensatoren aufgebaut sind, werden wir später nachlesen. Hier nur soviel, als daß man einen Kondensator in Schaltbildern durch zwei waagerechte Striche kennzeichnet.

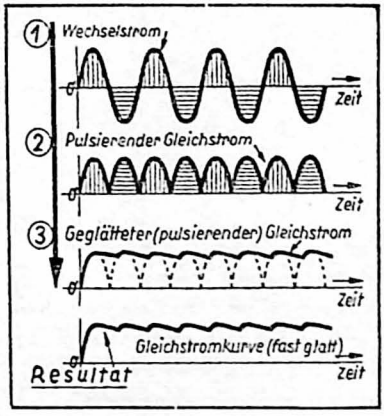


Schaltung eines Zweiweg-Gleichrichters mit Glättungskondensator

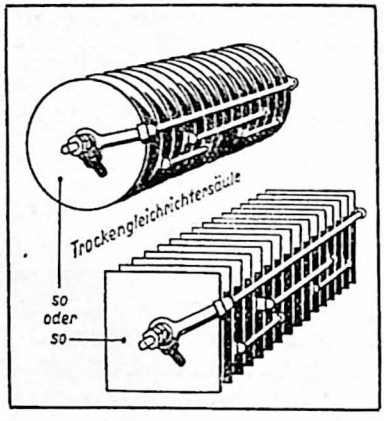
Eine vollständige Gleichrichterschaltung sieht demnach so aus, wie im Bilde skizziert.



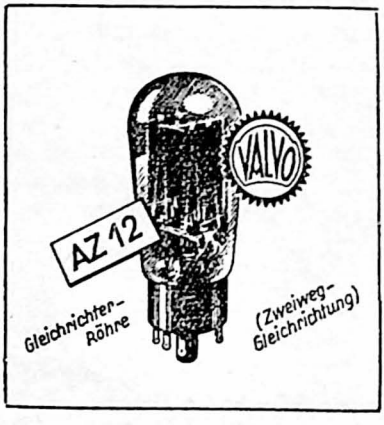
Diese Zweiweg-Gleichrichter-Schaltung mit dem Glättungs-Kondensator liefert einen fast reinen Gleichstrom. — Die Kurve des pulsierenden Gleichstroms verläuft bei 0 beginnend über A, B, D, E, F usw. Der Elektrizität sammelnde Kondensator wird in dem zwischen 0 und A liegenden Zeitraum aufgeladen (aufgefüllt).
Er gibt in der Zeit zwischen A und B Strom ab, so daß die Kurve nicht auf B absinkt, vielmehr langsam bis C fällt (Entleerung des Kondensators). In diesem Augenblick wird der Kondensator durch die neuerliche Pulsation frisch aufgeladen (C – D) und das Spiel beginnt von neuem.



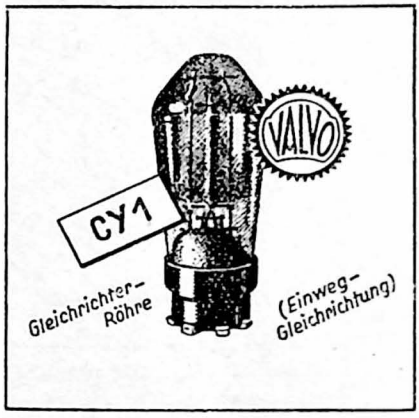
Der ganze Vorgang, beim Wechselstrom beginnend und beim geglätteten Gleichstrom endend, ist hier graphisch zusammengefaßt.



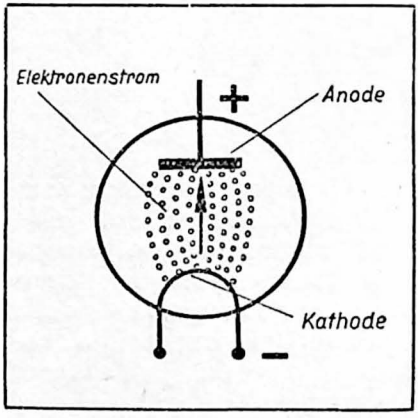
In der Praxis verwendet man je nach der Spannungshöhe mehrere zu kleinen Säulen hintereinandergeschaltete Trockengleichrichtereinheiten. Bei größeren Stromstärken kann man zwei oder mehrere solcher Säulen parallel schalten, oder man verwendet größer bemessene Typen.



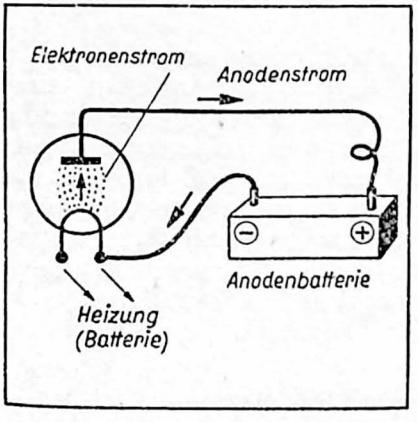
In Rundfunkgeräten werden Trokkengleichrichter oft an Stelle der Röhrengleichrichter benutzt, bei denen Elektronenröhren als elektrische Ventile dienen.



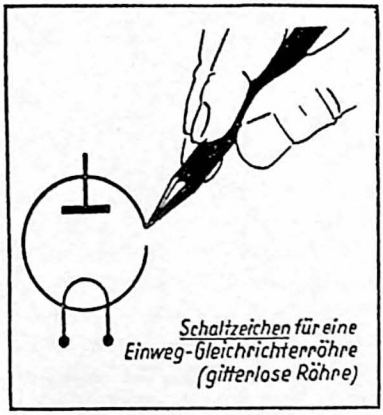
Gleichrichterröhren gibt es sowohl für „Einweggleichrichtung" als auch für die „Zweiweggleichrichtung". Beschäftigen wir uns zunächst mit der Einweggleichrichterröhre.



Aus dem späteren Abschnitt über Röhren mag der Leser entnehmen, daß innerhalb der Röhre ein Stromfluß (Elektronenstromfluß) zwischen der Kathode und der Anode nur in einer Richtung möglich ist.

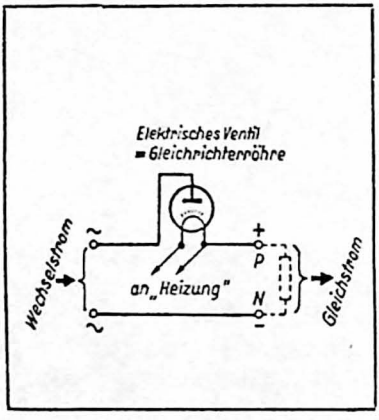


Die Stromquelle, die diesen Fluß nach den Darlegungen auf Seite 6 zustande bringt, ist eine „Anodenbatterie", die mit ihrem Pluspol an der Anode und mit ihrem Minuspol an der Kathode der Röhren liegen muß.

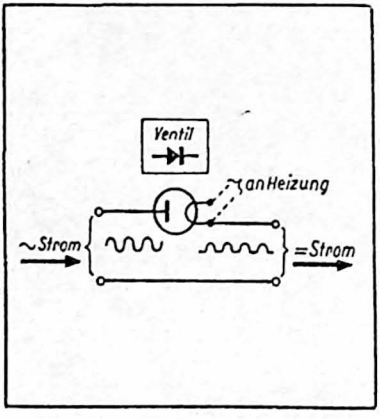


Schaltzeichen für eine Einweg-Gleichrichterröhre (gitterlose Röhre)

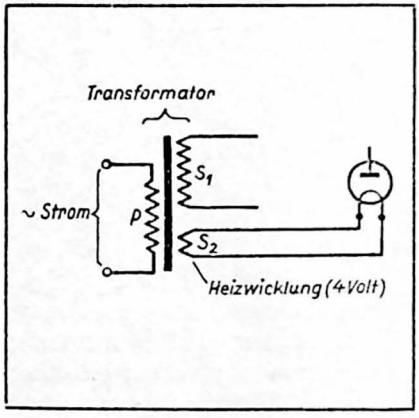
Nebenbei lernen wir das Schaltzeichen einer einfachen (gitterlosen) Röhre kennen.



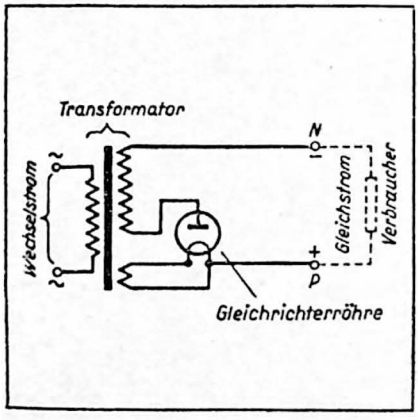
Wenn wir statt der gleichstromliefernden Anodenbatterie eine Wechselstromquelle an Anode und Kathode anschließen, dann fließt im Anodenstromkreis (in den irgendein Verbraucher eingeschaltet sein kann) pulsierender Gleichstrom.



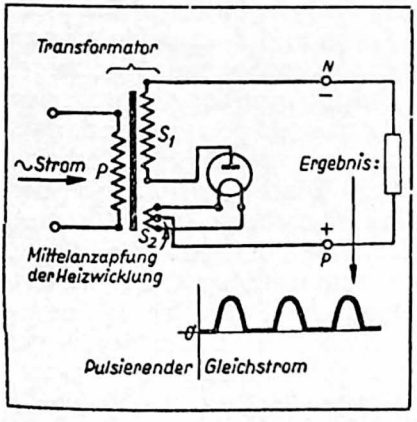
Die Erklärung ist einfach: Nur in dem Augenblick, in dem eine positive Halbwelle an der Anode liegt, kann ein Elektronenstrom, mithin ein Stromfluß im Anodenstromkreis zustande kommen. Für die Dauer der negativen Halbwelle fließt kein Strom im Anodenstromkreis. Die Röhre, deren Heizfaden glühen muß, um Elektronen auszusenden, wirkt wie ein elektrisches Ventil!



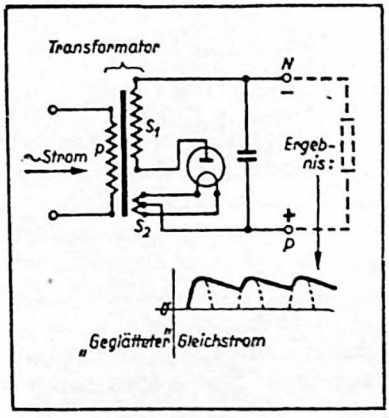
Um den Faden der Röhre zu „heizen", bedarf es keiner besonderen Heizbatterie: man kann auch mit Wechselstrom heizen. Dabei genügt eine kleine Spannung, z. B. 4 Volt. Ein Transformator liefert z. B. in Rundfunkgeräten über seine Sekundär-Wicklungen alle erforderlichen Spannungen, so auch die „Heizspannung".



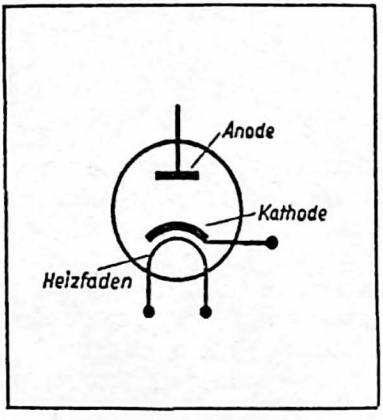
Man entnimmt ihm vor allem den gleichzurichtenden Wechselstrom, dessen Spannung man durch Transformieren beliebig hoch machen kann. Eine entsprechend hohe Spannung hat dann auch der gleichgerichtete Strom, der an den Klemmen N und P abgenommen wird.



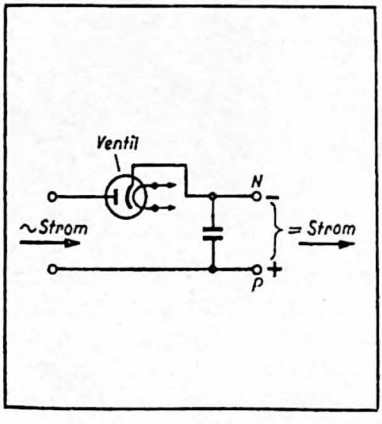
Um symmetrische Verhältnisse zu erhalten, zapft man praktisch den Mittelpunkt der Heizwicklung an und führt die Leitung von hier aus zum Pluspol P.

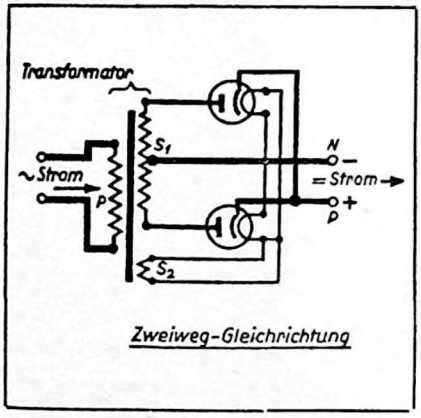


Den durch diese Einweggleichrichtung erhaltenen stark pulsierenden Gleichstrom glättet man mit Hilfe eines zwischen die N- und P-Leitung geschalteten Kondensators.



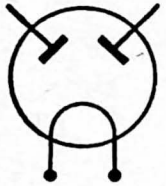
Schematisch wird eine Gleichrichterröhre, wie nebenstehendes Bild zeigt, dargestellt. Es handelt sich um eine Gleichrichterröhre mit „indirekt" geheizter Kathode. Die Kathode ist vom Heizfaden elektrisch vollkommen getrennt, d. h., daß man den Heizfaden nur zur Erhitzung der gesonderten, Elektronen aussendenden Kathode benutzt. Diese Ausführung der Gleichrichterröhre ist in Allstromgeräten anzutreffen. Die bisher behandelten Röhren, bei denen der Heizfaden gleichzeitig Kathode ist, werden „direkt" geheizte Röhren genannt. Einzelheiten darüber folgen später.





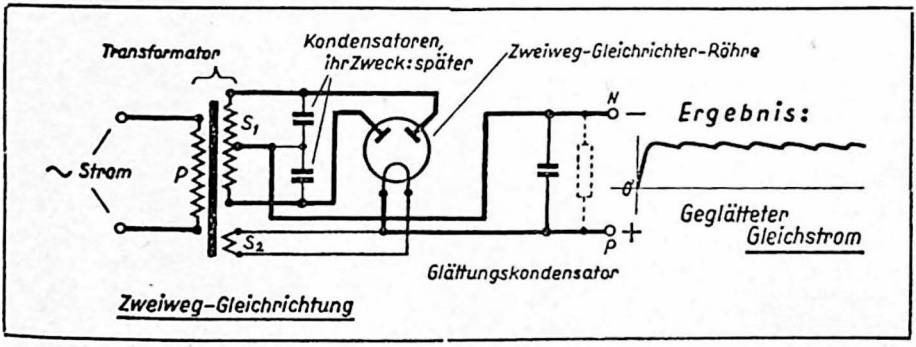
Zweiweg-Gleichrichtung

Statt einer Gleichrichterröhre kann man deren zwei verwenden und gelangt damit zur Zweiweg-Gleichrichtung.



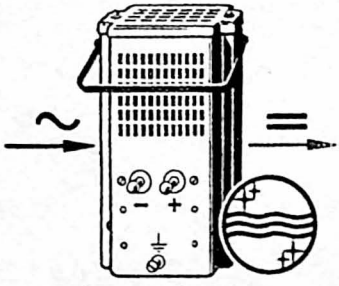
Schaltzeichen einer Zweiweg-Gleichrichterröhre

Faßt man beide Anoden und Kathoden in einem Glasgefäß, d. h. in einer Röhre zusammen, dann erhält man die Zweiweg-Gleichrichterröhre, die fast immer „direkt" geheizt wird. Die Kathoden, d. h. die Heizfäden beider Röhren werden zusammengefaßt.



Zweiweg-Gleichrichtung

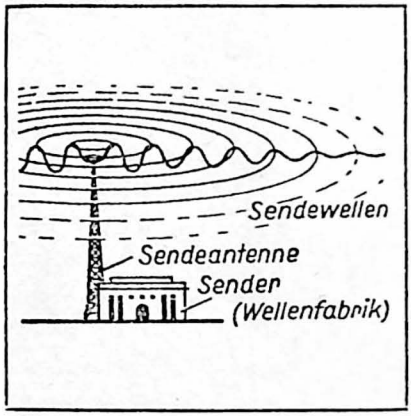
Die Zweiweg-Gleichrichterschaltung mit entsprechender Röhre sieht dann so aus, wie die obenstehende Schaltskizze erkennen läßt.



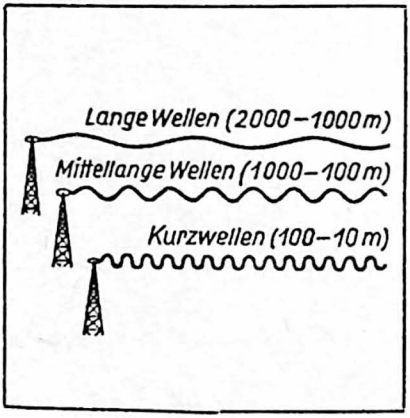
Röhren-Gleichrichter
zum Laden von Akkumulatoren

Stärkere Gleichrichter werden für das Laden von Akkumulatoren hergestellt.

II. Ein Abschnitt Rundfunktechnik
A) FUNKWELLEN

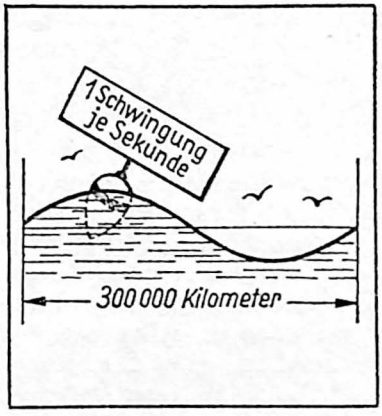


Der Rundfunk ist ein Wellenwunder. Unsichtbare Wellen tragen Ton und Sprache unhörbar über Weiten. Irgendwo aufgenommen, wird aus Wellen wieder Schall. Die Techniker verstehen es, schnelle elektrische Schwingungen, d. h. elektrische Wellen in „Sendern" zu erzeugen und sie durch hohe Sendeantennen in den Äther zu schicken.

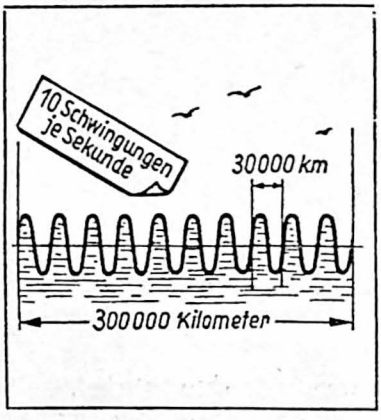


Sie haben es durch technische Mittel in der Hand, längere oder kürzere Sendewellen auszustrahlen.

Die Wellen pflanzen sich im Äther mit ungeheurer Geschwindigkeit fort, mit 300000 Kilometern in der Sekunde! Rund 7½ mal könnten sie in einer Sekunde die Reise rund um den Erdball vollenden!

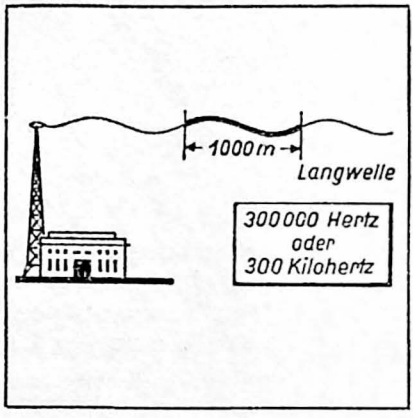


Eine Ätherwelle von 300 000 km Länge schwingt in der Sekunde nur ein mal hin und her (1 Wellenlänge).



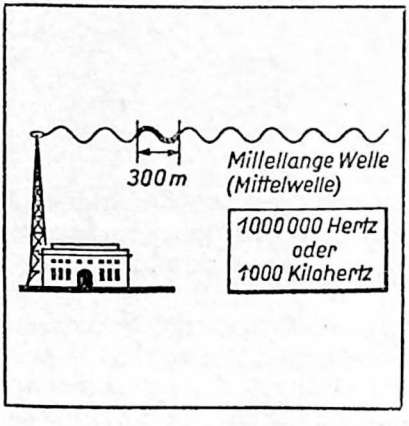
Eine nicht ganz so riesig lange Welle, sagen wir eine von „nur" 30000 km Länge, muß also in der gleichen Zeit 10mal soviel Schwingungen machen, sich aus 10 Wellenbergen und Wellentälern zusammensetzen. (Mehr über Wellen siehe Seite 57.)

Die Schwingungszahl in der Sekunde wird in „Hertz" angegeben. Diese Maßbezeichnung wurde zu Ehren des großen deutschen Physikers, des Entdeckers der „Funkwellen", gewählt. Bei 10 Schwingungen in der Sekunde spricht man also von „10 Hertz".

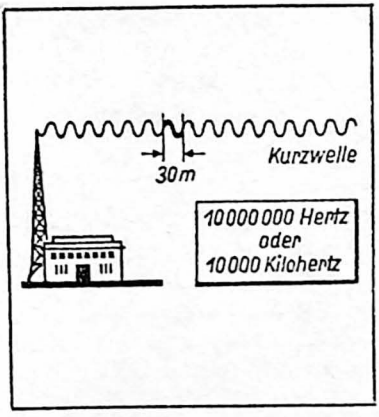


Die Langwellensender des Rundfunks strahlen Wellen von etwa 1000 bis 2000 Meter Länge aus. Das ist gleichbedeutend mit 300000 bis 150000 Schwingungen in der Sekunde (oder mit 300000 bis 150000 Hertz).

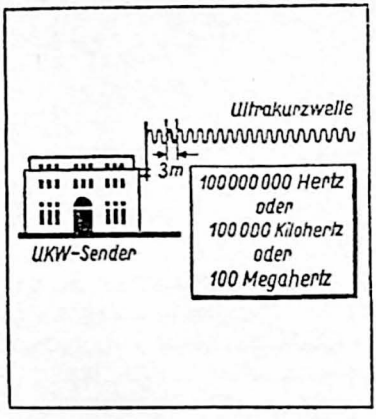
Statt 1000 Hertz setzt man der Einfachheit halber 1 Kilohertz, wie man 1000 Gramm mit 1 Kilogramm bezeichnet. (Hertz wird „Hz" und Kilohertz „kHz" abgekürzt.)



Die Mittelwellensender, das sind jene, die wir auf den Skalen der Rundfunkempfänger in so großer Zahl angegeben finden, jene, die am meisten gehört werden (Hamburg, München, Leipzig, Stuttgart, Berlin usw.), arbeiten mit Wellen zwischen 1000 m und 100 m. Eine 300-Meter-Welle schwingt 1 Million mal in der Sekunde hin und her (= 1000 Kilohertz).

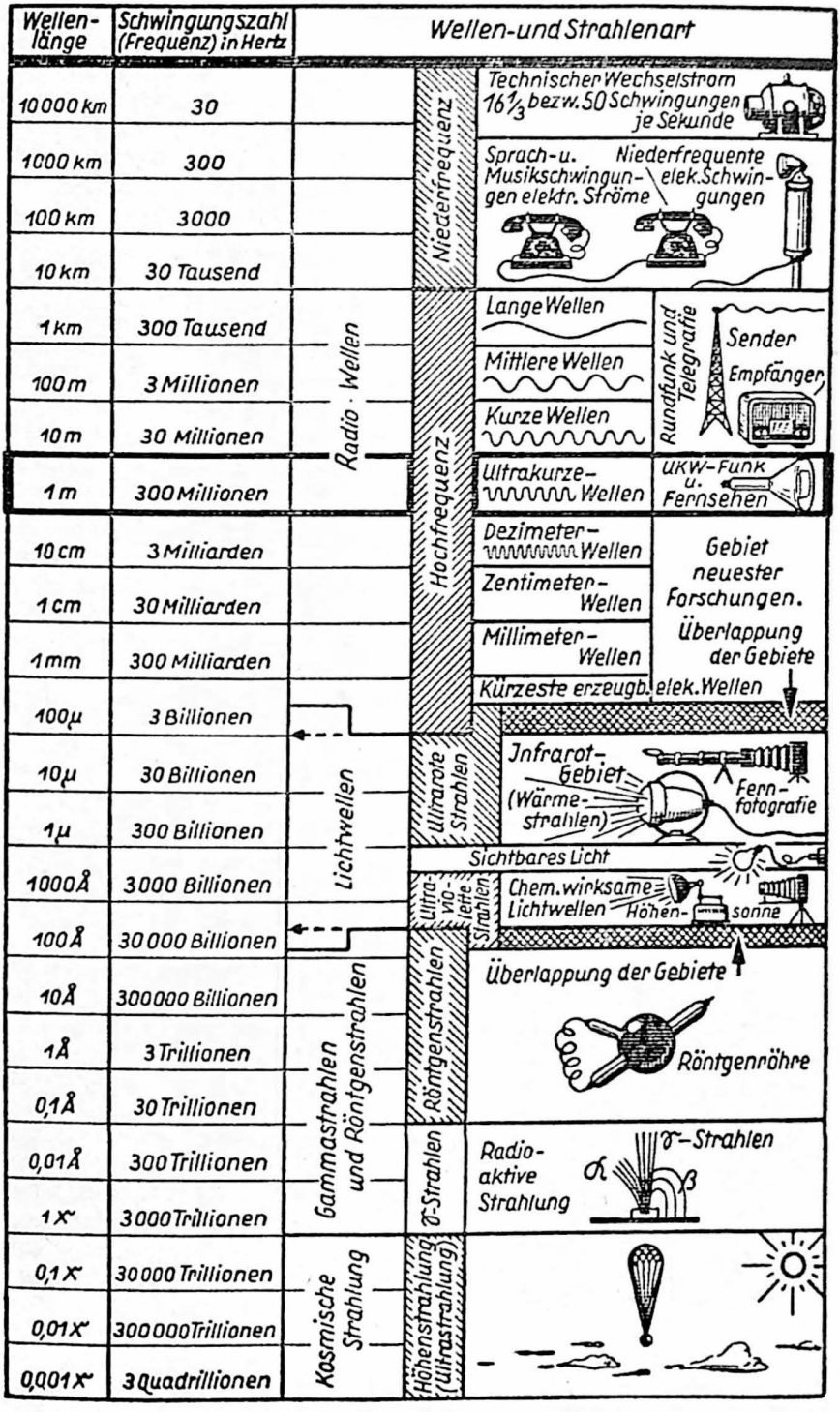


Noch schneller ist das Auf und Ab der „Kurzwellen", die zwischen 100 bis 10 Meter Länge messen. Eine 30-Meter-Welle macht in der Sekunde 10 Millionen Schwingungen (10000 kHz)!



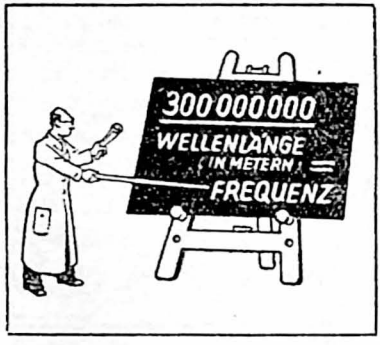
Gehen wir noch einen Schritt weiter, so gelangen wir zu den Ultrakurzwellen, deren Bereich zwischen 10 m und 1 m liegt. 100 Millionen mal schwingt die „Über"-kurze 3-Meter-Welle in der Sekunde, Berge und Täler bildend. Nebenbei: 1 Million Hertz wird 1 Megahertz (Mega = 1 Million) genannt. 100 Millionen Hertz sind also gleich 100 Megahertz (abgekürzt 100 MHz).

Den Neugierigen unter uns sei gesagt, daß es natürlich noch kürzere Wellen, noch schnellere Schwingungen gibt. Ja, man kann ein ganzes „Band" zusammenstellen, beginnend mit den längsten und endend mit den kürzesten Wellen.
Man nennt es das „elektromagnetische Wellenband". Später wird der Leser finden, daß bei den Wärme- und Lichtstrahlen Wellenlängen angegeben sind, die uns wegen ihrer „Kürze" erstaunen. Sehen wir uns deshalb das ganze „Wellenband" einmal an.

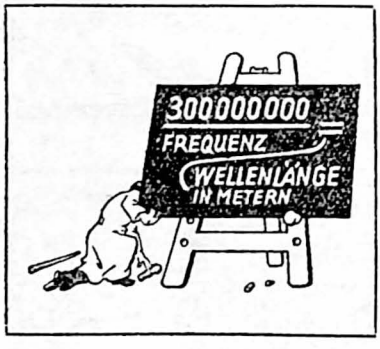

Wellen-länge
Schwingungszahl (Frequenz) in Hertz
Wellen-und Strahlenart
10000 km
30
1000 km
300
100 km
3000
10 km
30 Tausend
1 km
300 Tausend
100 m
3 Millionen
10 m
30 Millionen
1 m
300 Millionen
10 cm
3 Milliarden
1 cm
30 Milliarden
1 mm
300 Milliarden
100µ
3 Billionen
10µ
30 Billionen
1µ
300 Billionen
1000Å
3000 Billionen
100Å
30000 Billionen
10Å
300000 Billionen
1Å
3 Trillionen
0,1Å
30 Trillionen
0,01Å
300 Trillionen
1X
3000 Trillionen
0,1X
30000 Trillionen
0,01X
300000 Trillionen
0,001X
3 Quadrillionen
Radio-Wellen
Lichtwellen
Gammastrahlen und Röntgenstrahlen
Kosmische Strahlung
Niederfrequenz
Hochfrequenz
Ultrarote Strahlen
Ultra-violette Strahlen
Röntgenstrahlen
γ-Strahlen
Höhenstrahlung (Ultrastrahlung)
Technischer Wechselstrom 16⅔ bezw. 50 Schwingungen je Sekunde
Sprach-u. Musikschwingungen elektr. Ströme
Niederfrequente elek. Schwingungen
Lange Wellen
Mittlere Wellen
Kurze Wellen
Rundfunk und Telegrafie
Sender
Empfänger
Ultrakurze-Wellen
UKW-Funk u. Fernsehen
Dezimeter-Wellen
Zentimeter-Wellen
Millimeter-Wellen
Gebiet neuester Forschungen.
Überlappung der Gebiete
Kürzeste erzeugb. elek. Wellen
Infrarot-Gebiet (Wärme-strahlen)
Fern-fotografie
Sichtbares Licht
Chem. wirksame Lichtwellen
Höhen-sonne
Überlappung der Gebiete
Röntgenröhre
Radio-aktive Strahlung
γ-Strahlen

Auf die ultrakurzen Wellen (die Meterwellen) folgen die Dezimeterwellen, es schließen sich die Zentimeter- und Millimeterwellen an; kurz darauf folgen die Infrarot-Wärmewellen, und dann die noch schneller schwingenden Lichtwellen. Weitere Wellengebiete allerschnellster Schwingungen folgen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Zur Erklärung der Wellenlängenbezeichnung in der Tabelle nur so viel, daß μ (Mikron) gleichbedeutend mit $^1/_{1000}$ Millimeter ist. Å heißt Angström und mißt $^1/_{1000}$ Mikron. X schließlich ist identisch mit ein zehnmillionstel Mikron.

Die in Hertz, Kilohertz oder Megahertz angegebene sekundliche Schwingungszahl nennt der Techniker die „Frequenz". (Langsame elektrische Schwingungen werden mit „Niederfrequenz", schnellere mit „Hochfrequenz" bezeichnet.) Wellenlänge und Frequenz, das geht deutlich aus der Tabelle hervor, stehen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander: Mit kürzer werdender Welle wächst die sekundliche Schwingungszahl, die Frequenz.



Ist die Wellenlänge in Metern bekannt, so errechnet sich ihre Frequenz aus der im Bilde angegebenen Formel.

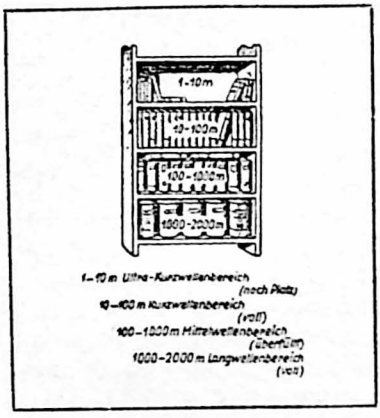


Umgekehrt findet man aus bekannter sekundlicher Schwingungszahl, aus der Frequenz, die Wellenlänge auf ähnliche Weise.

Ein humorvoller Vergleich wird es leichter machen, die Verhältnisse zu behalten: ein Kino hat eine kleine abendliche Besucherzahl (eine niedrige Besucher-Frequenz), denn der gezeigte Film ist langweilig (langwellig).

Ein anderes Filmtheater hat eine große Besucherzahl (eine hohe Besucher-Frequenz), weil der vorgeführte Film kurzweilig (kurzwellig) ist.

Es gibt verschiedene Gründe dafür, weshalb man sich nicht auf die drei „alten" Wellenbereiche beschränkt und einen vierten hinzunimmt. Vor allem ist das Gedränge der Sender innerhalb der bisherigen Bereiche gar zu groß geworden, einer stört den anderen.

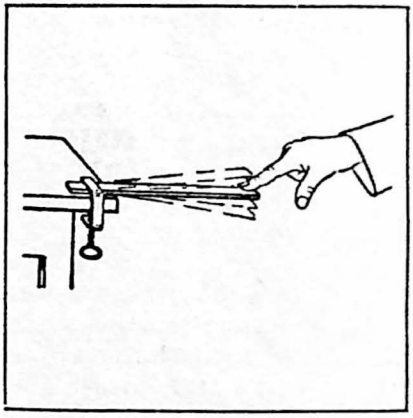


Auch hier wieder ein Vergleich: Zu Anbeginn arbeitete man mit langen Wellen; ihnen sollen dickleibige Bücher entsprechen. — Schnell war ein Schaft des Bücherregales gefüllt, es paßten nicht allzu viele von den starken Büchern (Langwellen) in die beschränkte Regal-Breite. Um im nächsten Schaft mehr Bücher unterbringen zu können, mußte man sie dünner machen (mittellangeWellen). Aber mehr noch mußten untergebracht werden.

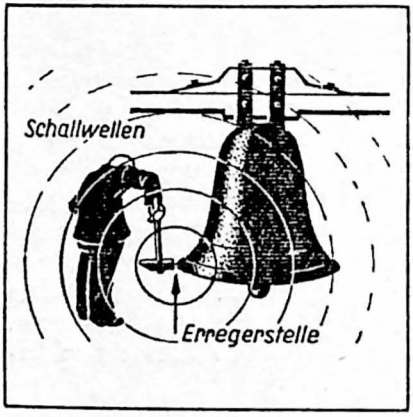
So blieb nichts anderes übrig, als noch schmalere Bände - nebenbei gesagt mit ebenbürtigem Inhalt - zu wählen, die dann im dritten Schaft wiederum zahlreicher eingestellt werden konnten (kurze Wellen). Aber schon seit längerem ist man dran, eine vierte Reihe mit ganz dünnen Büchern zu füllen (Ultrakurzwellen). Hier ist noch etwas Platz.

Die technisch-physikalischen Hintergründe für die Wahl immer kürzerer Wellen kann man erst verstehen, wenn man über die Eigenschaften und Eigenarten des Schalles unterrichtet ist, der von den Wellen des Funks mitgenommen werden soll. Die folgenden Seiten nehmen sich deshalb der Schallwellen besonders an.

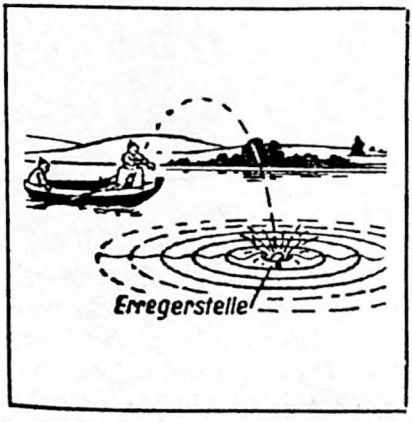
B) SCHALLWELLEN



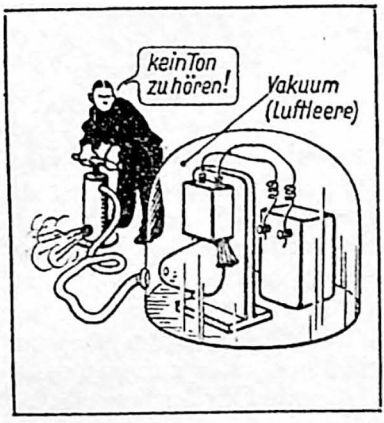
Was sind Schallwellen? Nichts anderes als Luftbewegungen, als „Schwingungen" der Luft. – Ein Lineal wird an einem Ende festgeklemmt, am anderen angezupft: es gerät in sichtbare Schwingungen. Die Schwingungen teilen sich der Luft mit, sie erreichen als Luftwellen unser Ohr und rufen einen Schalleindruck hervor, daher nennt man sie „Schallwellen".



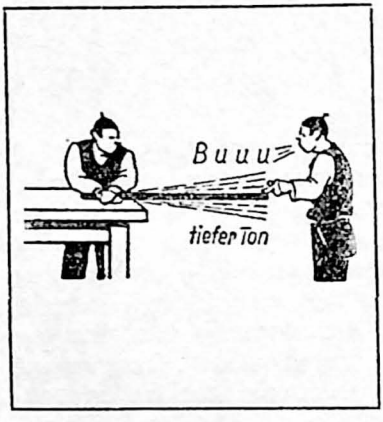
Einen besseren Klang gibt es, wenn eine Glocke angeschlagen wird. Das Glockenmetall gerät in Schwingungen und somit auch die umgebende Luft — es entstehen Schallwellen. Bei der Glocke ist die Anschlagstelle des Hammers die „Erregerstelle". Von ihr aus breiten sich die Schallwellen kugelförmig aus.



Schallwellen ähneln denen des Wassers, die z. B. durch einen Steinwurf „erregt" wurden.



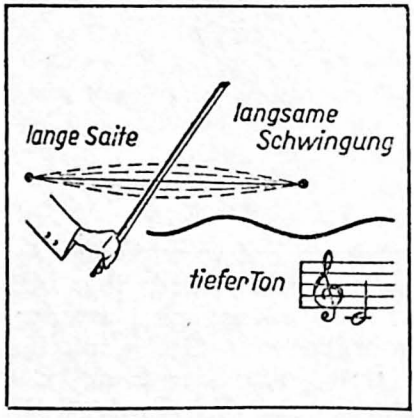
Daß Schallwellen Luftwellen sind, kann man leicht nachweisen: Bringt man eine kräftig läutende elektrische Klingel unter einen großen Glassturz, so hört man das Geklingel immer noch gut, wenn auch gedämpft. Pumpt man jetzt die Luft aus der Glashaube, dann hört man nicht mehr den geringsten Laut. – (Im Gegensatz zu den Schallwellen sind Runkfunkwellen keine Schwingungen der Luft. Sie pflanzen sich auch ohne das Vorhandensein von Luft fort.)



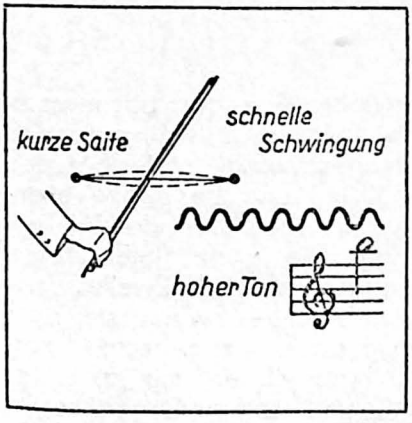
Schnelle Schallschwingungen rufen im Ohr den Eindruck hoher Töne, langsame den Eindruck tiefer Töne hervor. Das lehrt uns das Experiment mit dem schwingenden Stab: Ist er lang, dann schwingt das angestoßene freie Ende verhältnismäßig langsam, so entstehen langsam schwingende Luft- bzw. Schallwellen, man hört einen tiefen Ton . . .

. . . ist er kurz, so teilt er schnellere Schwingungen der umgebenden Luft mit; es entstehen schnellere Schallwellen, die einen höheren Ton erzeugen.

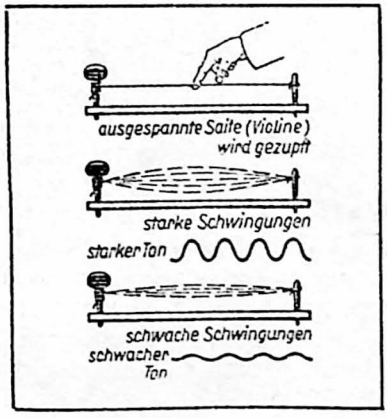
Der Versuch läßt sich verfeinert ausführen, wenn man einmal die ganze Länge einer Violinsaite mit dem Bogen anstreicht und dann die durch Fingeraufdruck verkürzte Saite.



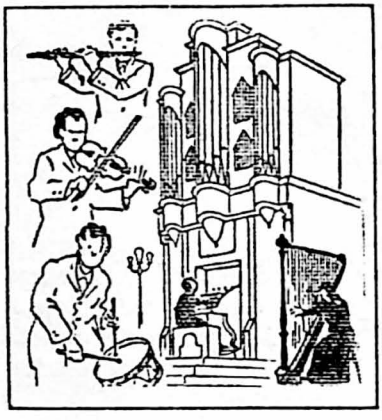
Die ganze (längere) Saite schwingt langsamer, die entstehenden Schallwellen sind lang (geringe Zahl von Wellen in einem bestimmten Zeitraum: tiefer Ton).



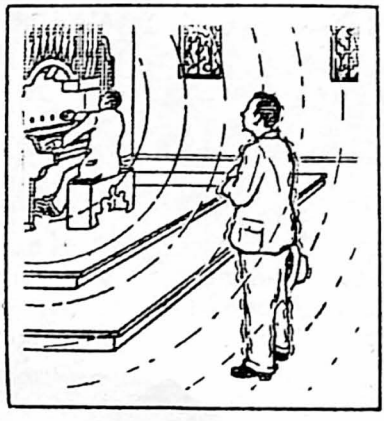
Die verkürzte Saite schwingt schneller hin und her und ruft schnellere Luftschwingungen, d. h. kürzere Schallwellen hervor (größere Zahl von Wellen in einem bestimmten Zeitraum: höherer Ton).



Die Stärke der Schwingungen ist maßgebend für die sich ergebende Lautstärke: starke mechanische Schwingungen = starke Luftschwingungen = starke Schallwellen = starker Ton (bzw. schwache mechanische Schwingungen = schwache Luftschwingungen = schwache Schallwellen = schwacher Ton).

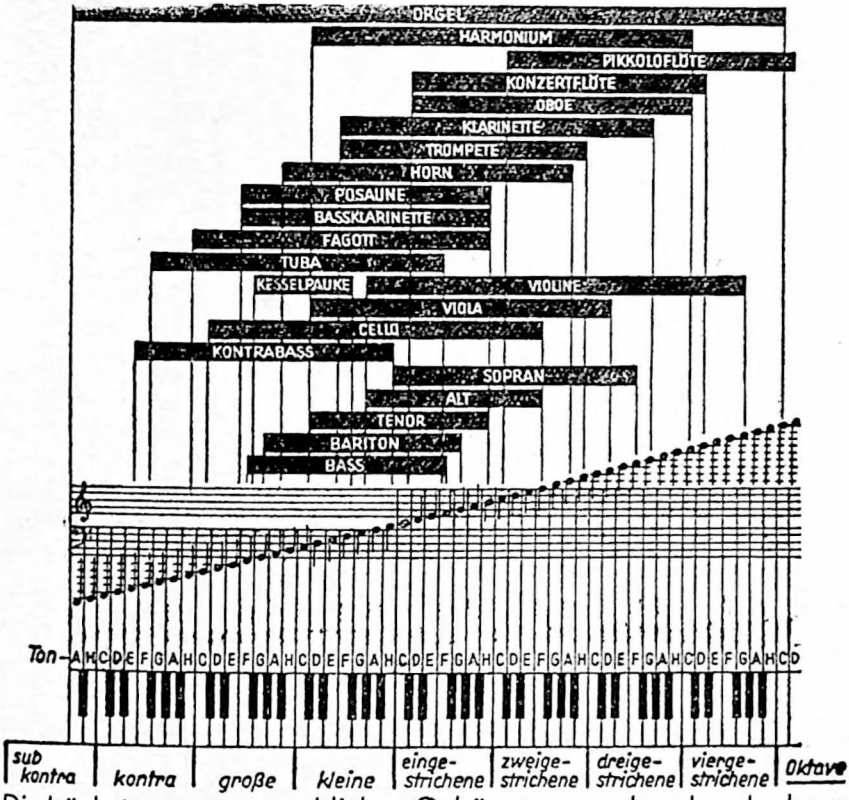


Schall kann auf verschiedene Art erzeugt werden, immer aber wird Luft in Schwingungen versetzt, sowohl bei der Geige, als bei der Flöte, oder der Orgel, der Trommel oder der Harfe.



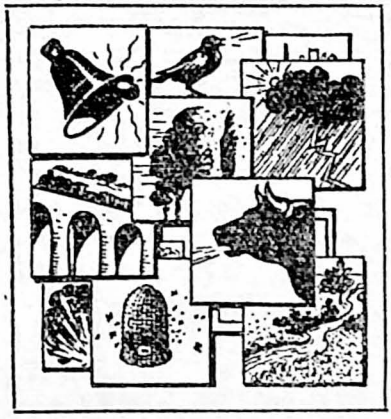
Der tiefste Ton, den das menschliche Ohr noch wahrzunehmen vermag, schwingt in der Sekunde 16mal hin und her (16 Wellenberge mit anschließenden Wellentälern). Die ganz tiefen Tönen entsprechenden Schallwellen empfindet man — wenn sie stark genug sind — regelrecht körperlich, man vibriert mit (z. B. bei tiefen und starken Orgeltönen).

Techniker und Physiker bezeichnen die Zahl der in einem bestimmten Zeitabschnitt auftretenden Schwingungen mit „Frequenz". Die Maßeinheit für die Frequenz ist wie in der Elektrotechnik das „Hertz" (abgek. Hz). „16 Hertz" heißt z. B. 16 Schwingungen in der Sekunde. Oder: 2000 Hz ist gleichbedeutend mit 2000 Schwingungen je Sekunde.



Die höchsten vom menschlichen Gehörorgan noch wahrnehmbaren Töne haben Frequenzen zwischen 14000 und 16000 Hertz (individuell verschieden). Natürlich gibt es noch schnellere, dann aber unhörbare Schallschwingungen: Ultra-Schall!

Die meisten Musikinstrumente haben einen verhältnismäßig kleinen Frequenzbereich. Klavier und Orgel umfassen die breitesten Tonbereiche. Der höchste Ton (Grundton) dieser Instrumente liegt bei ungefähr 4000 Hz (4000 Schwingungen in der Sekunde). – Das Kammer-A hat 440 Hz, das Kontra-C 32,7 Hz, das fünfgestrichene C 4186,03 Hz.



Außerordentlich vielartig sind die Schalläußerungen: es klingt, tönt, pfeift, wispert, säuselt, rattert, summt, brummt oder es knallt, usw. Immerhin lassen sich drei Hauptgruppen von Schalläußerungen unterscheiden: Töne, Klänge u. Geräusche (wenn man nicht noch die „Knalle" hinzunehmen will).

Ein Ton entspricht einer reinen Schallschwingung mit gleichmäßigen Wellenbergen und Wellentälern, so wie sie in unseren Zeichnungen wiederholt schon als gleichförmige Wellenlinien dargestellt wurden.

Klänge dagegen setzen sich aus mehreren Tönen zusammen, also aus mehreren verschiedenartigen Schallschwingungen. Eine Klangwelle sieht deshalb nicht mehr so einfach aus. Sie ist das Produkt aus dem Zusammenwirken mehrerer verschiedenartiger Schallwellen.

Geräusche sind ganz unregelmäßige Erschütterungen der Luft. Eine Geräuschwelle ist ein wirres Durcheinander von hohen und niedrigen, von langen und kurzen Schallwellen.

Ein Knall ist im wesentlichen nur eine einmalige, allerdings sehr starke Erschütterung der Luft. Die Schallkurve eines Knalles sieht etwa so aus, wie im Bild angedeutet.

In der Akustik und in der Elektroakustik hat man es vorwiegend mit Tönen und Klängen zu tun. Allerdings: ganz reine Töne gibt es kaum! Es handelt sich fast immer um „Klänge"! — Das geht schon daraus hervor, daß ein und derselbe „Ton" einmal so und einmal so klingt. Angenommen, der Ton a wird gesungen, oder ein Geiger spielt den gleichen Ton a auf der Violine, oder ein Trompeter bläst das gleichhohe a auf der Trompete. Musikalisch ist es stets ein und derselbe Ton a, der seine bestimmte Note im Violinschlüssel hat. Trotzdem unterscheidet das Ohr ganz genau: das ist ein gesungenes a, das ein a auf der Violine, das ist ein a auf der Trompete.

Jedes Instrument erzeugt „Töne" einer bestimmten „Klangfarbe". Immer sind dem Grundton weitere (höhere) Töne beigemengt. Man nennt sie „Obertöne". Je nach der Art und Zahl der mitschwingenden Obertöne ist die Klangfarbe des Instrumentes (oder der Stimme) eine andere. —

„Tonbestimmend" bleibt jedoch immer der Grundton, der auch am schallstärksten ist.

PHONTABELLE

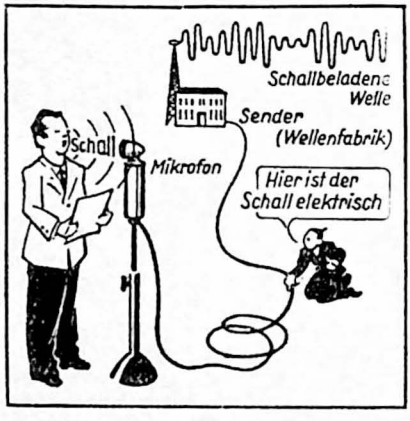
Phon	Musikalisches Zeichen	Art des Geräusches
0	–	Untere Hörschwelle
20	ppp	Blätterrauschen bei mittlerer Luftbewegung
30	pp	Straßengeräusch in stiller Wohngegend
40	p	Leise Rundfunkmusik
50	mf	Geräusch in einem Theater vor Beginn der Vorstellung (oder Straßenlärm mittlerer Stärke)
60	f	Lautes Sprechen
70	ff	Mehrere Schreibmaschinen in einem Raum (oder lauter Straßenlärm)
80	fff	Untergrundbahn (oder Schreien)
100	–	Lautestes Motorradgeknatter
120	–	Flugzeug in 4–6 m Abstand
130	–	Abschuß eines schweren Geschützes (Fühlschwelle: schmerzender Lärm)

Ein Maß für die Lautstärke ist das „Phon". Die obige Lautstärketabelle beginnt mit null Phon und endet mit 130 Phon. – Das Wort „Phon" kommt aus dem Griechischen und bedeutet nichts anderes als „Laut". So versteht man zum Beispiel unter „Phonetik" die „Lautbildungslehre".

Noch eins: Schallwellen gelangen in einer Sekunde 333 Meter weit. Lichtwellen sind ungeheuer viel schneller, sie pflanzen sich mit 300000 Kilometern in der Sekunde fort. Daher kommt es, daß man beim Abfeuern einer Kanone den Knall in einer gewissen Entfernung später hört, als man das Aufblitzen beim Lösen des Schusses sieht.

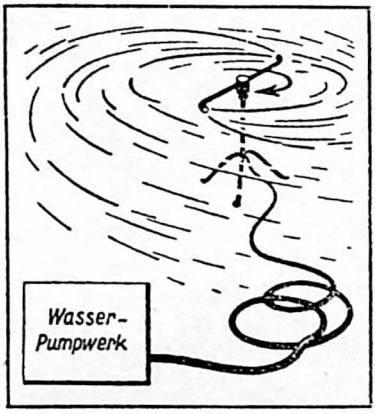
C) SENDUNG UND EMPFANG

Nachdem uns der voraufgegangene Abschnitt über den Schall und seine Wesensart unterrichtet hat, können wir uns mit den weiteren Vorgängen beim Rundfunk (Sendung und Empfang) beschäftigen. Aber etwas Geduld ist vonnöten: wir müssen ein wenig ausholen.

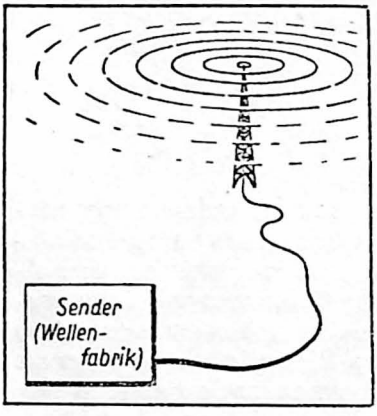


Die von den Sendern ausgestrahlten (hochfrequenten) Wellen nehmen den im Sendehaus in elektrische Schwingungen umgewandelten Schall (Niederfrequenz) auf ihrem Rücken mit. Man nennt die weitreichenden Sendewellen deshalb auch „Trägerwellen".

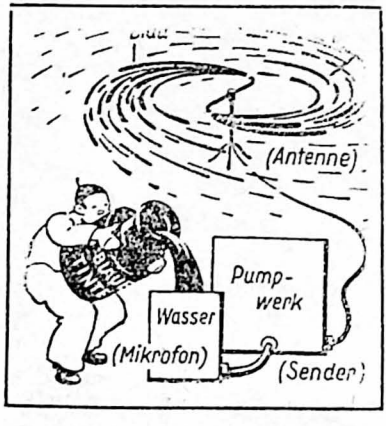
Ein Vergleich dazu: Stellen wir uns den Sender als Rasensprenger vor, der Wasser nach allen Richtungen hin ausstrahlt, wie die Sendeantenne elektrische Wellen.



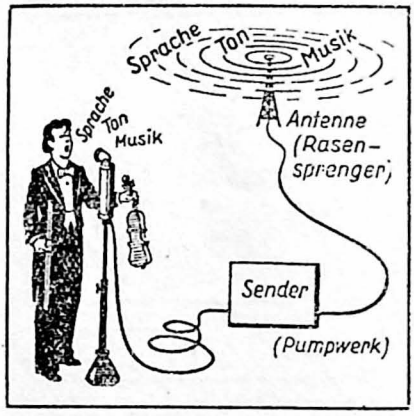
Was das Wasserpumpwerk für das Wasser ist ...



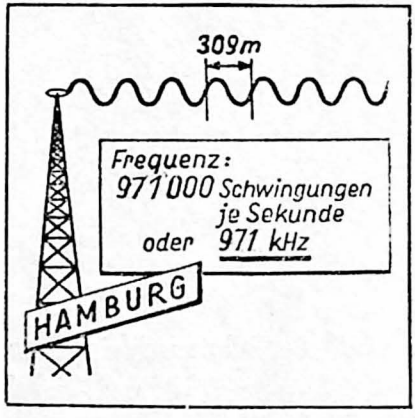
... das ist der Sender für die elektrischen Wellen: er pumpt elektrische Wellen in die Antenne, von der sie ausgestrahlt werden.



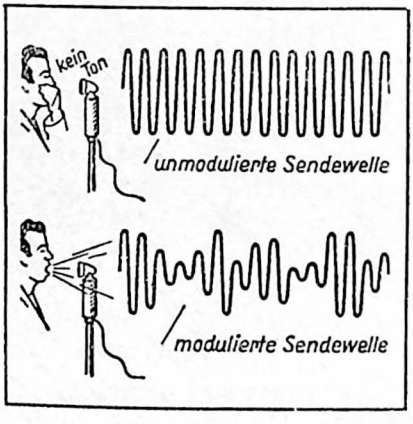
Der Rasensprenger soll aber nicht nur klares Wasser verspritzen, aus bestimmten Gründen vielmehr blaugefärbtes, wie die Sendeantenne nicht nur reine elektrische Wellen aussenden soll, sondern musikgefärbte. Deshalb sorgen wir durch eine besondere Einrichtung dafür, daß jemand dem auszusprengenden Wasser blaue Farbe beimengen kann.



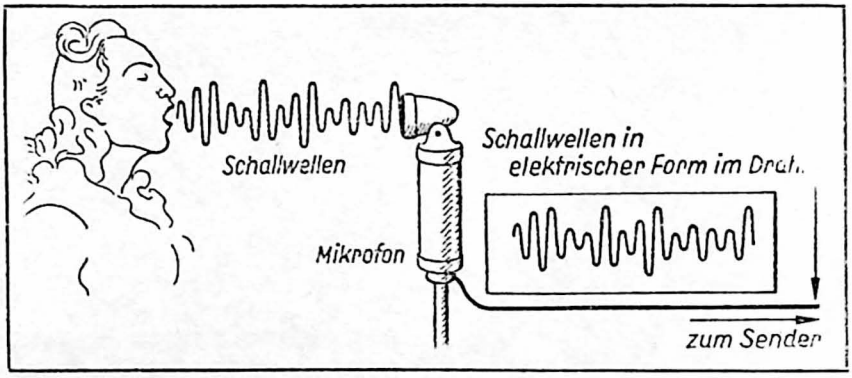
Die Sendewelle ist im Vergleich Trägerin des Schalles (in elektrischer Form).



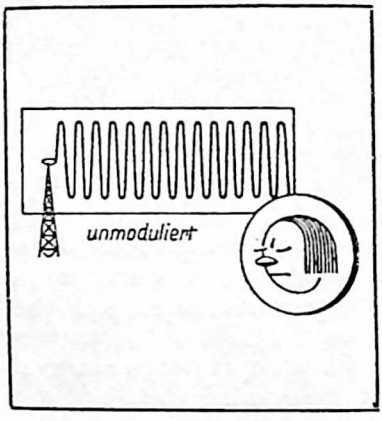
Eine normale Sendewelle hält eine genau festgelegte Frequenz ein, bzw. eine genau festgelegte Länge. Hamburg z. B. hat die Frequenz 971 kHz (entsprechend einer Wellenlänge von 309 Meter).



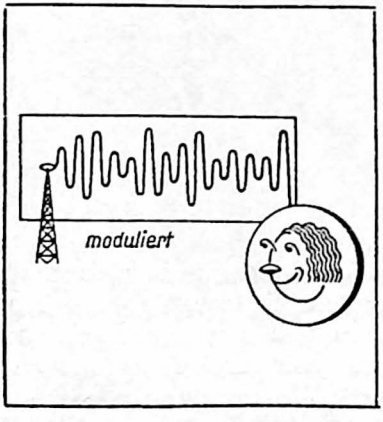
Die Techniker nennen eine schallbeladene Sendewelle eine „modulierte" Welle, eine nicht mit Schall beladene eine „unmodulierte" Welle.



Wenn die zu übertragende Schallwelle so aussieht, wie hier im Bilde ...

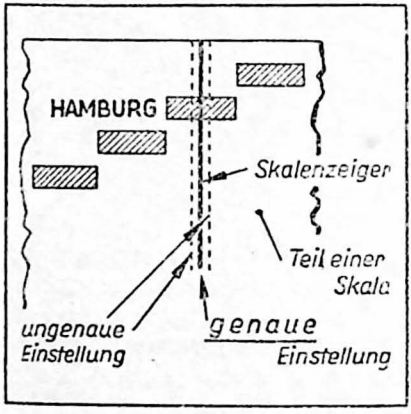


... und die schnellschwingende unmodulierte Sendewelle diese Form hat .

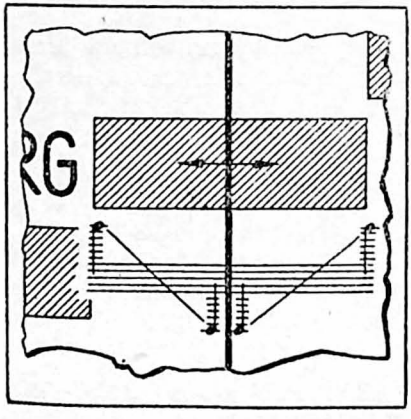


... dann nimmt die modulierte Sendewelle die hier gezeigte Gestalt an.

Machen wir einen kleinen Empfangsversuch mit unserem Rundfunkgerät und nehmen wir die Hamburger Welle auf.



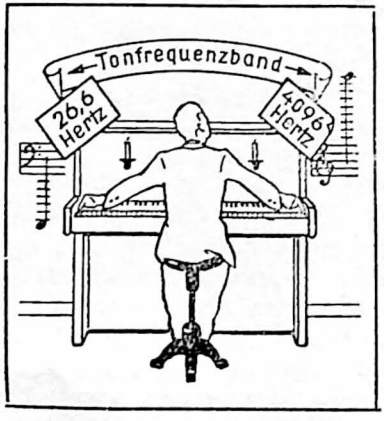
Wird der Skalenzeiger aus der Genaueinstellung eine Kleinigkeit nach links oder rechts verschoben, dann hören wir Hamburg nach wie vor. Die schallbeladene modulierte Welle kann sich nicht auf die Frequenz 971 kHz beschränken.



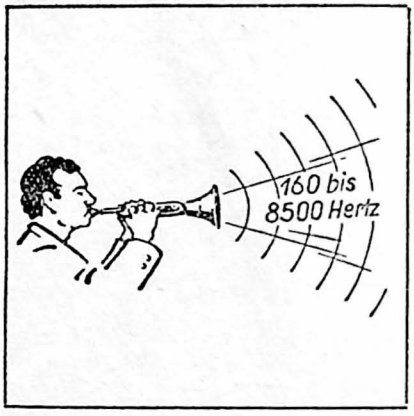
Wird der Skalenzeiger noch etwas mehr nach rechts oder links gerückt, dann hört man deutlich, daß die hohen Töne bevorzugt werden, während die tiefen mehr oder weniger verschwinden.

Durch das Aufladen von Schallast auf die „Trägerwelle" findet eine Verbreiterung der ursprünglichen Frequenz nach beiden Richtungen hin statt. Je breiter das zu übertragende Tonfrequenzband (Schallband) ist, um so breiter wird die mögliche, wenn auch ungenaue Einstellung des Senders auf der Skala des Empfangsgerätes. Nebenan wollen aber auch andere Sender genug Platz haben; der einzelne darf sich deshalb nicht übermäßig breitmachen.

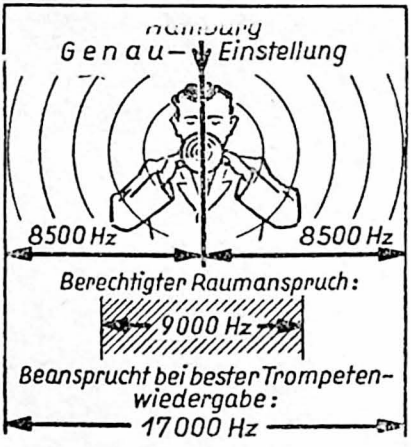
Jedem Sender kann daher nur eine gewisse Breite zugestanden werden, damit keine gegenseitigen Störungen eintreten („Kanal"-Breite oder auch „Band"-Breite nennt sie der Techniker).



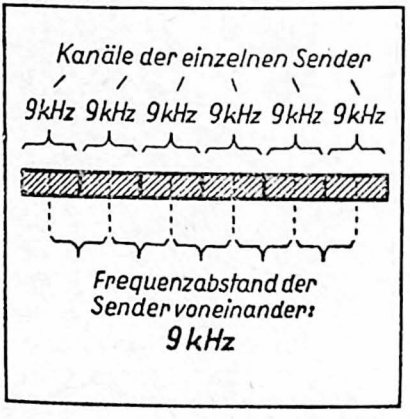
Wenn soeben von einem „Tonfrequenzband" gesprochen wurde, so war damit das Band der hörbaren Schallschwingungen von den langsamsten bis zu den schnellsten gemeint. Sollen z. B. sämtliche Töne des Klaviers vom tiefsten bis zum höchsten Ton übertragen werden, dann bedarf es eines Tonfrequenzbandes von rund 4100 Hertz Breite. (Tiefster Ton 26,6 Hertz, höchster Ton 4096 Hertz.)



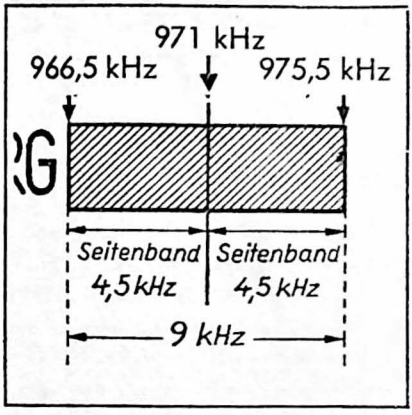
Nimmt man die Obertöne hinzu, die den Instrumenten und der Stimme erst die Eigenart, die Klangfarbe geben, dann erweitert sich das Tonfrequenzband stark nach den schnelleren Schwingungen (höheren Tönen) hin (bei einer bestimmten Trompete z. B. bis 8500 Hertz).



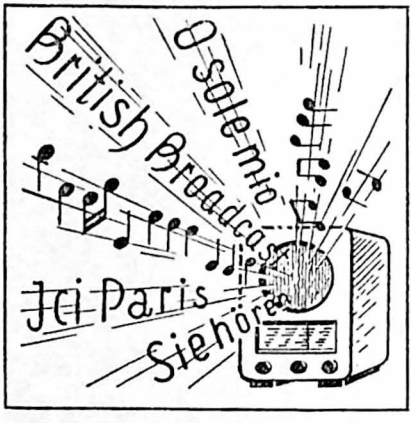
Das bedeutet nichts anderes, als daß z. B. ein im Hamburger Sender gespieltes Trompeten-Solo die eigentliche Frequenz des Senders nach beiden Seiten hin um 8500 Hertz verbreitert. Damit beansprucht der Hamburger Sender zuviel Frequenzraum, an dem andere Sender auch teilhaben wollen. Er überdeckt den Frequenzraum der benachbarten Sender und stört ihre Darbietungen.



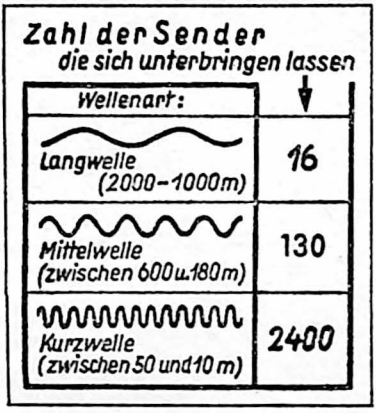
Will man möglichst viele Sender auf einem Wellenband unterbringen, dann muß man ihnen den Raum, auf dem sie wirken dürfen, vorschreiben. Das geschieht, indem man jedem Sender eine Band-Breite von nur 9 kHz zugesteht, entsprechend einer Tonfrequenz von 4500 Hertz nach beiden Seiten hin.



Der Sender Hamburg hat mit seiner Grundfrequenz von 971 000 Hertz ein Ausbreitungsrecht einerseits bis 975500 Hertz (971000+4500 Hertz), andererseits bis 966 500 Hertz (971 000 – 4500 Hertz).



Diese Einschränkung geht zu Lasten der Tongüte, aber bei dem Gedränge der Sender, besonders auf dem Mittelwellenbereich, blieb keine andere Wahl. Leider haben sich die europäischen Sender durchaus nicht an die einmal getroffenen Abmachungen gehalten, überall haben sich neue Stationen eingeschmuggelt, so daß ein fürchterliches Wellendurcheinander entstanden ist und auch mit den besten Geräten nur wenige Rundfunkstationen einwandfrei empfangen werden können. Das führte zum Entwurf von Wellenplänen. Aber ob Wellenplan A oder Wellenplan B, grundsätzlich soll der Abstand der Rundfunksender nach wie vor voneinander 9 kHz betragen. Nehmen wir das praktisch benutzte Mittelwellenband zwischen 180 m und 600 m Wellenlänge an, d. h. zwischen 1670 und 500 kHz, so ließen sich innerhalb dieses 1170 kHz breiten Bandes im ganzen rund 130 Sender mit einer jeweiligen Breite von 9 kHz unterbringen, nicht mehr. Zur Zeit „wirken" aber rund 400 Sender auf dem Mittelwellenband (im europäischen Raum), daher die vielen gegenseitigen Störungen.



Noch viel weniger Sender ließen sich im Langwellenbereich unterbringen, den wir praktisch zwischen 1000 und 2000 m annehmen wollen, entsprechend zwischen 300 und 150 kHz; Gesamtbreite = 150 kHz, Unterbringungsmöglichkeit für nur 16 Sender zu je 9 kHz Breite. Der Kurzwellenbereich dahingegen bietet wesentlich bessere Verhältnisse. Nehmen wir ihn nur zwischen 10 und 50 m an, entsprechend 30000 kHz u. 6000 kHz, so bekommt man bei einem auf 10 kHz verbreiterten „Kanal" immerhin schon 2400 KW-Sender unter.

Bei der großen Reichweite der Kurzwellensender kam man immer noch nicht mit dem vorhandenen Raum aus, und so tat man einen Schritt weiter zur Ultrakurzwelle; hier gab es noch Platz. – So konnte man hier vor allem die Bandbreite wesentlich erweitern, statt nur 4,5 kHz können hier 15 kHz übermittelt werden. Doch davon mehr in einem späteren Kapitel.

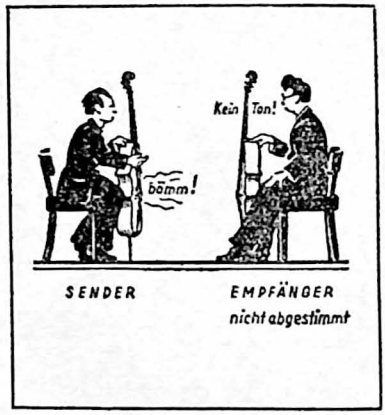
D) RUNDFUNKEMPFÄNGER: ERSTES WISSEN

Die Rundfunk-Sender-Wellen und mit ihnen die in eine elektrische Form gebrachten Schallwellen schwirren in übergroßer Zahl teils schwächer, teils stärker durch den Raum. Ein scheinbar unentwirrbares Chaos.

Die „Abstimmelemente" unserer Rundfunkempfangsgeräte vermögen aus dem über die Antenne aufgenommenen Wellenwirrwarr die Welle des Senders herauszusieben, die wir empfangen wollen. Wie das vor sich geht, werden wir bald verstanden haben.

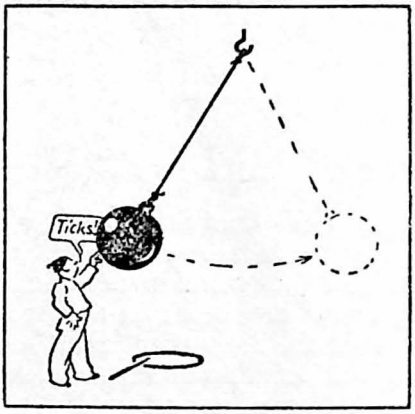
Jeder kennt Resonanzerscheinungen, wenn er sich auch des physikalischen Phänomens nicht immer bewußt wird. Auf der „Resonanz" fußt die ganze Empfangstechnik. Befassen wir uns deshalb einige Augenblicke mit ihr. — Jemand spielt Klavier. Auf dem Instrument stehen vielleicht einige eingerahmte Fotos. Beim Anschlagen dieses oder jenes Tones klirren sie mit – aber immer nur beim Anschlagen der gleichen Töne. Das z. B. ist eine Resonanzerscheinung.

Wenn sich zwei Musiker gegenüber sitzen, die beide ein Cello vor sich haben und der eine von beiden eine Saite anzupft, dann fängt die gleiche Saite auf dem anderen Instrument an mitzuschwingen und zu tönen! Aber nur dann, wenn die Saiten genau auf den gleichen Ton „abgestimmt" sind.

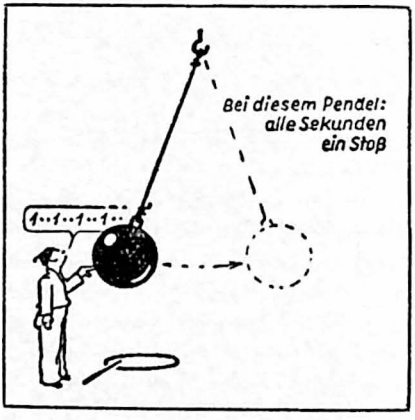


Das zweite Instrument bleibt jedoch stumm, wenn die Schwingungszahl der entsprechenden Saite nicht genau derjenigen entspricht, die auf dem ersten Instrument gezupft wird, d. h. wenn die Saiten nicht aufeinander „abgestimmt" sind.

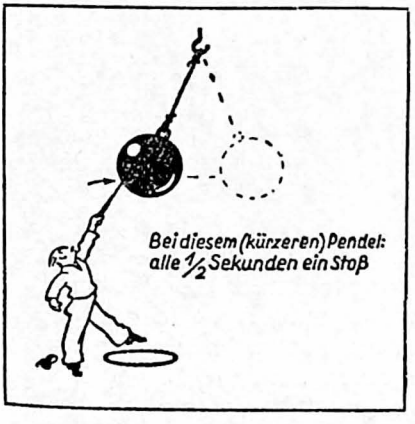
Das Zustandekommen dieser merkwürdigen Tatsache geht aus einem zweiten einfachen Versuch hervor. Ein Junge will eine schwere Eisenkugel, die an einem Draht hängt, zum Schwingen bringen: die Kugel soll kräftig hin und her schaukeln.



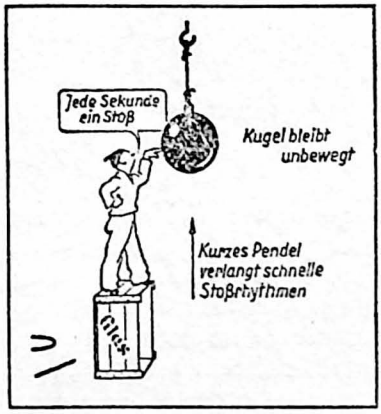
Mit geringsten Kräften vermag der Junge die Kugel in Hin- und Herbewegungen zu versetzen. Er muß der Kugel nur in geeigneten Abständen kleine Stöße versetzen. Sie gerät dabei in immer größere Pendelbewegungen.



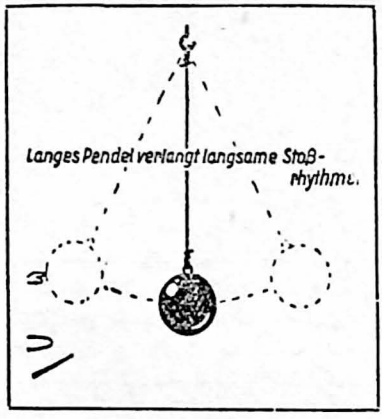
Einmal im Schwung, ist es leicht den richtigen Zeitpunkt für den neuen Anstoß zu finden: er muß immer dann erfolgen, wenn die Kugel in ihrer Bewegungsrichtung umkehren will. Nehmen wir an, daß zwischen den einzelnen Stößen jedesmal ein Zeitraum von einer Sekunde liegt.



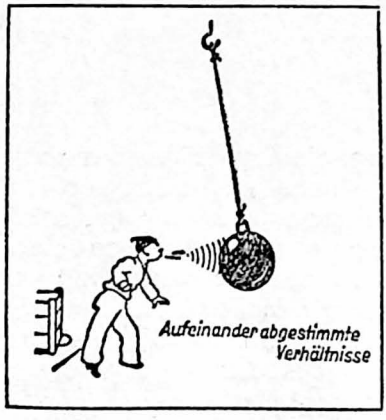
Hängt die Kugel still und versucht der Knabe das Experiment zu wiederholen, indem er seine Stöße in Abständen von einer halben Sekunde wiederholt, so mißlingt sein Bemühen: Die Frequenz der Stöße muß den Eigenarten des Schwingungssystems genau entsprechen!



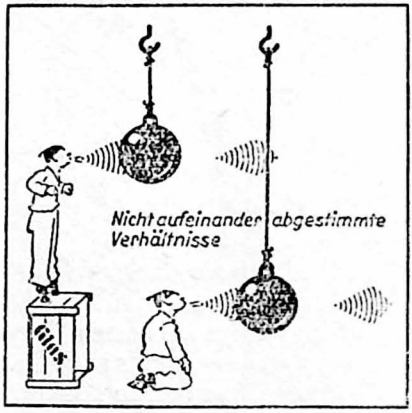
Würde der Knabe die Kugel eines noch kürzeren Pendels in gleichen Zeitabständen anstoßen, so gelangt er ebenfalls nicht zu einem Erfolg. Jetzt nämlich müßte er in viel schnellerer Reihenfolge kleine Stöße abgeben.



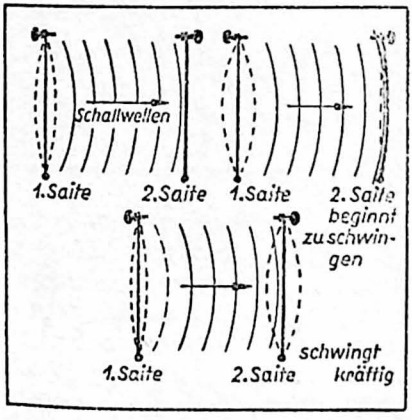
Bei einem längeren Pendel als dem ersten, muß er in längeren Zeiträumen seine Stöße wiederholen. Immer muß die Stoßfrequenz mit der „Eigenfrequenz" des Pendels in Einklang stehen: die Verhältnisse müssen aufeinander abgestimmt sein. Ähnliche Beobachtungen hat jeder schon einmal beim Schaukeln gemacht.



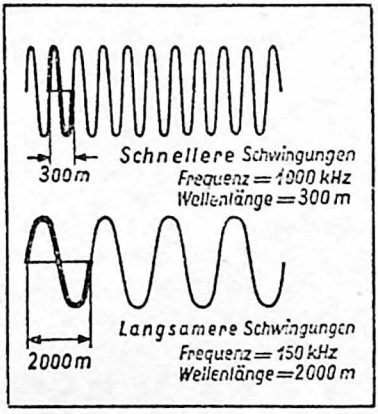
Der Knabe vermag – bei Einhaltung richtiger Zeitabstände — das Pendel sogar durch rhythmisches Pusten in Bewegung zu versetzen und in Bewegung zu erhalten.



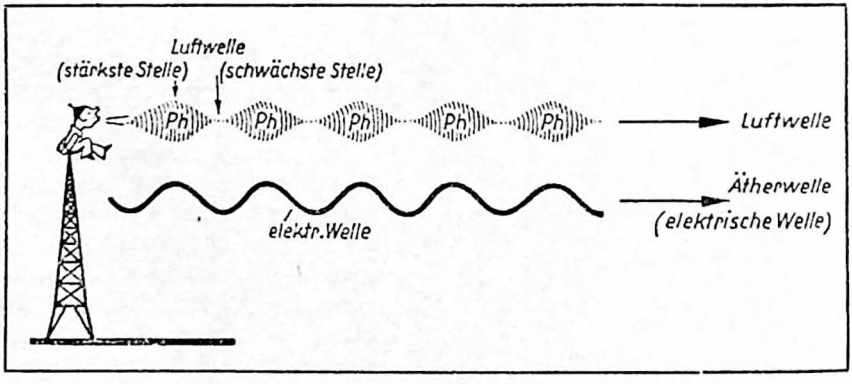
Das kann er aber auch nur dann, wenn die Verhältnisse genau aufeinander abgestimmt sind, d. h. wenn zeitliche Pusteabstände eingehalten werden, die den jeweiligen Eigenarten der kürzeren oder längeren Pendel entsprechen. Bei gleichem Pusterhythmus wie vorher, bewegen sich längere oder kürzere Pendel nicht aus ihrer Ruhelage.



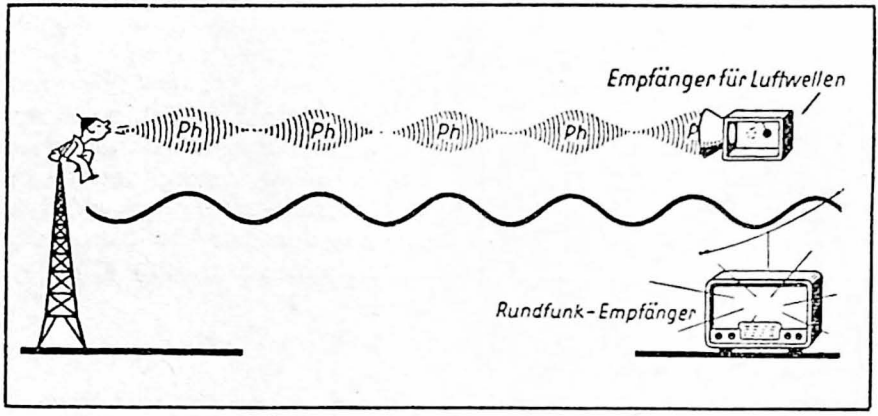
Bei den Cellosaiten war es ähnlich: die erste Saite wurde angezupft. Sie teilt ihre Schwingungen der umgebenden Luft mit; als Schallwellen treffen die Luftschwingungen auf die entsprechende Saite des zweiten Instrumentes. Sie stoßen sie an: zunächst sind die angeregten Schwingungen sehr klein, durch die nachfolgenden rhythmischen Luftstöße aber werden sie immer mehr vergrößert. Schließlich sind sie so stark, daß ein gut hörbarer Ton abgegeben wird: Resonanz (Bei nicht aufeinander abgestimmten Saiten, längeren oder kürzeren, stärker oder schwächer angespannten: keine Resonanz!)



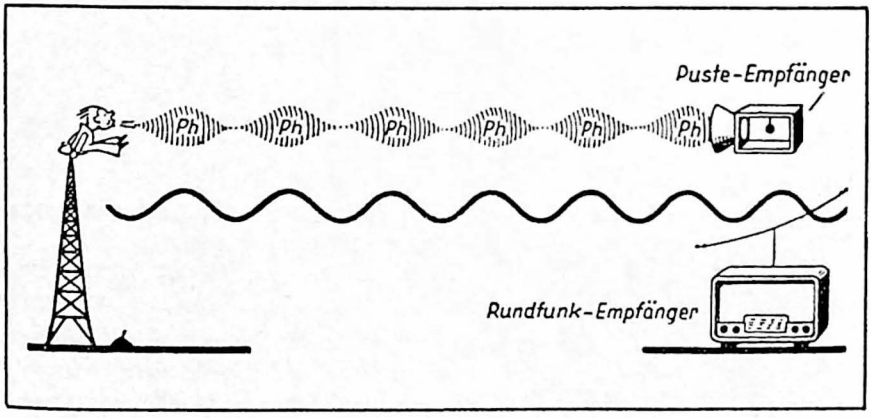
Die Rundfunksender strahlen Ätherschwingungen aus: elektrische Wellen. Sie sind je nach ihrer „Frequenz" länger oder kürzer (man mißt sie ja auch in Metern.)



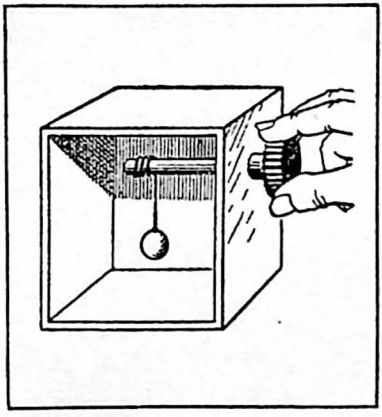
Diese elektrischen Schwingungen, die am Empfangsort meist nur schwach sind, können ein „schwingungsfähiges" elektrisches Gebilde ebenso zu Schwingungen anregen, wie eine Cellosaite die andere über Luftschwingungen (Schallschwingungen). Stellen wir uns ersatz- und vergleichsweise vor, vom Sender gingen Pustewellen aus. Die Pustestöße sollen eine gleichbleibende Frequenz haben, so wie die wirklichen elektrischen Sendewellen.



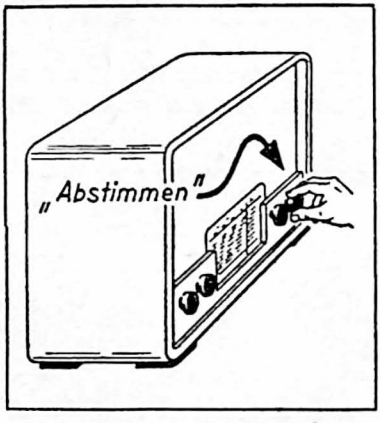
Auf der Empfängerseite brauchen wir einen Pusteempfänger, in dem ein Pendelchen hängt, das in Schwingungen versetzt werden soll. Sind seine Schwingungsverhältnisse auf die der ankommenden Pustewellen abgestimmt, dann fängt es an, hin und her zu schwingen.



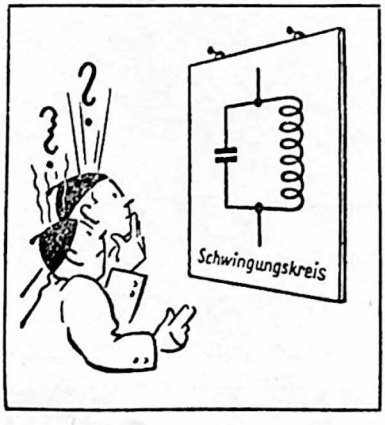
Ist der Pusterhythmus ein anderer (bei gleich langem Pendelchen) z. B. ein schnellerer (höhere Frequenz), dann bleibt es unbewegt hängen.



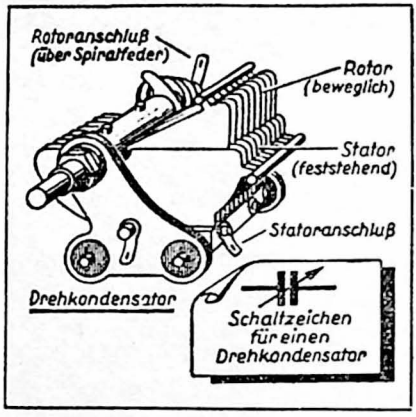
Wollen wir auf beliebige Pustewellen „abstimmen" können, dann muß der Pusteempfänger mit einer Einstellvorrichtung versehen sein, mit der sich die Länge des Pendelchens verändern läßt.



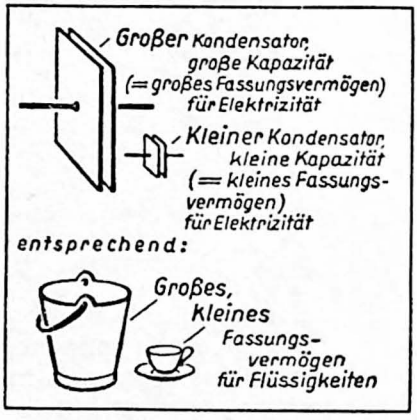
Wenn wir am Skalenknopf eines Rundfunkempfängers drehen, dann tun wir nichts anderes, als daß wir das Gerät auf verschiedene Sender-Wellenlängen (auf verschiedene Frequenzen) „abstimmen".



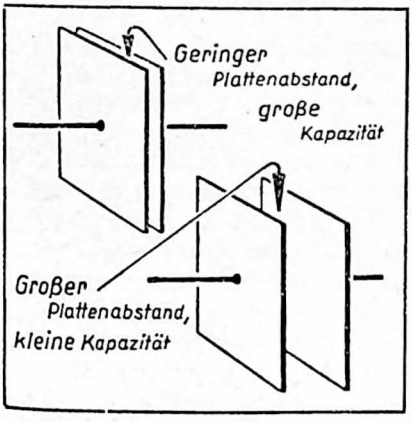
Vorher wurde ein „schwingungsfähiges" elektrisches Gebilde erwähnt. Es sieht natürlich ganz anders aus als ein mechanisches Pendel. Die in ihm auftretenden Schwingungen sind ebensowenig sichtbar wie die ankommenden Wellen selbst. Es setzt sich aus einem „Kondensator" und einer „Spule" zu einem „Schwingungskreis" zusammen.



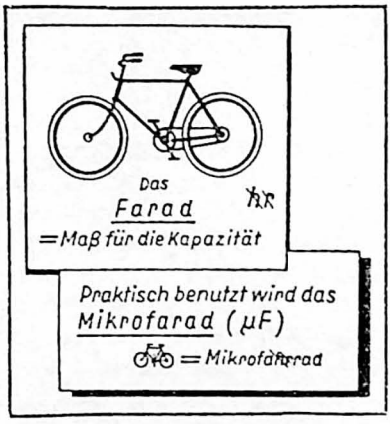
Was ein Kondensator ist, wurde im Abschnitt „Gleichrichter" gesagt, wo auch das Schaltzeichen angegeben war. Dort handelte es sich um einen in seinem Wert (Kapazitätswert — Fassungsvermögens-Wert) unveränderlichen Kondensator. Wir aber brauchen für die Zwecke der „Abstimmung" Kondensatoren, deren Größenverhältnisse leicht und stetig geändert werden können. Sie stehen uns in Form von „Drehkondensatoren" zur Verfügung.



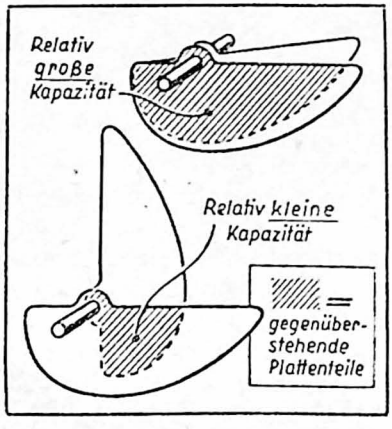
Ein Kondensator hat ein bestimmtes Fassungsvermögen. Der Elektrotechniker und Funktechniker spricht hier von der „Kapazität", die sich nach der Größe der sich gegenüberstehenden metallischen Flächen richtet. Je größer die sich gegenüberstehenden Flächen sind, um so größer ist das Fassungsvermögen, die Kapazität des Kondensators.



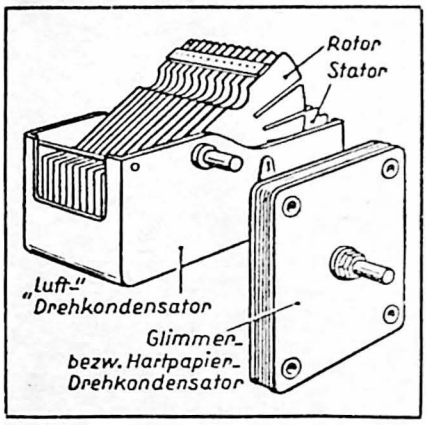
Der Kapazitätswert ist ferner von dem Plattenabstand abhängig: Großer Abstand – kleine Kapazität; geringer Abstand – große Kapazität. (Eine Rolle spielt auch die Isolationsart zwischen den Platten, sie ist z. B. anders bei Luft als bei Glas oder Papier.)



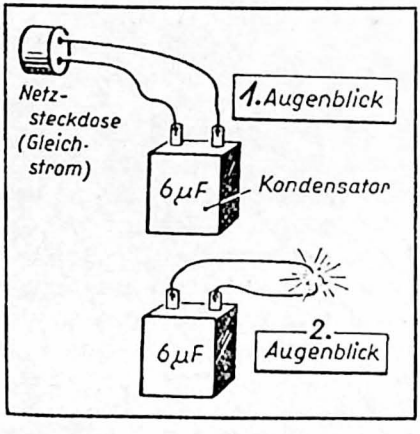
Die Physiker und Techniker benutzen ein besonderes Maß zur Bezeichnung des Fassungsvermögens von Kondensatoren. Es ist das „Farad", so genannt zu Ehren des englischen Physikers Faraday. Da der Wert des Farad für praktische Zwecke viel zu groß ist, rechnet man mit dem Mikrofarad (abgek. μF), dem millionsten Teil des Farads. In der Funktechnik finden Kondensatoren mit noch viel kleineren Kapazitäten Verwendung, so daß ein weiteres Maß eingeführt werden mußte, das „Picofarad" (abgek pF auch. μμF). Es ist der millionste Teil des Mikrofarads und der billionste Teil des Farads!



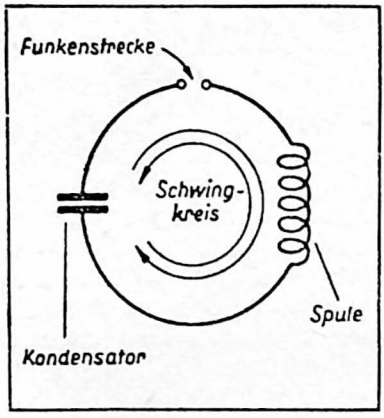
Beim Drehkondensator wird der Kapazitätswert dadurch geändert, daß man ein Plattenpaket, das von einem zweiten isoliert ist (Isolation z. B. Luft) aus dem anderen herausdreht, so daß einmal größere, das andere Mal kleinere Kapazitätswerte auftreten. Stellen wir uns einen Drehkondensator vor, der nur aus zwei gegeneinander verdrehbaren Platten besteht (die Platten haben aus bestimmten Gründen eine besondere Form), so wird uns sofort deutlich, daß bei der Verdrehung der einen Platte gegen die andere eine Änderung der Kapazitätsverhältnisse eintritt. Beim Herausdrehen der beweglichen Platte wird der jeweilige Kapazitätswert geringer.



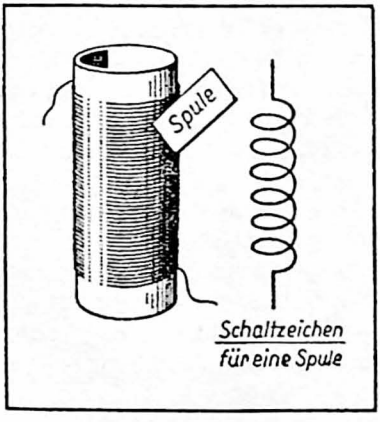
Die Drehkondensatoren aller normalen Rundfunkempfänger haben, wie in einer der voraufgegangenen Zeichnung angegeben, mehrere Platten, zwei Plattenpakete- Praktisch bedeutet das nur soviel, als daß der maximale Kapazitätswert dieser Kondensatoren wesentlich größer ist als der von Einplatten-Kondensatoren. Zwei große Platten sind aufgelöst in mehrere kleine Platten. Die Isolation zwischen den Platten braucht nicht aus Luft zu bestehen, sie kann auch durch eine Glimmerplattenzwischenlage bzw. Hartpapier gebildet werden: Glimmer- bzw. Hartpapierdrehkondensatoren im Gegensatz zu Luftkondensatoren. – Normale Drehkondensatoren haben maximale Kapazitätswerte von etwa 500 Picofarad (bei hereingedrehtem Plattenpaket) und eine Minimal-Kapazität von 40 – 50 Picofarad (bei ganz herausgedrehten Platten).



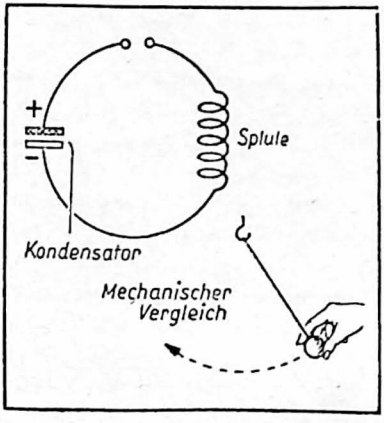
Kondensatoren lassen sich „aufladen", mit Elektrizität füllen. Schließt man einen größeren Kondensator kurzzeitig an eine Gleichstromquelle an, um ihn aufzuladen, dann laßt sich seine Ladung im nächsten Augenblick ausgleichen, indem man die beiden Verbindungsdrahtenden nahe aneinander bringt: ein kräftiger Funke springt über und „entlädt" den Kondensator. (Bei den Kondensatoren mit geringem Kapazitätswert liegen die Verhältnisse ähnlich, wenn sie sich auch nicht so drastisch demonstrieren lassen).



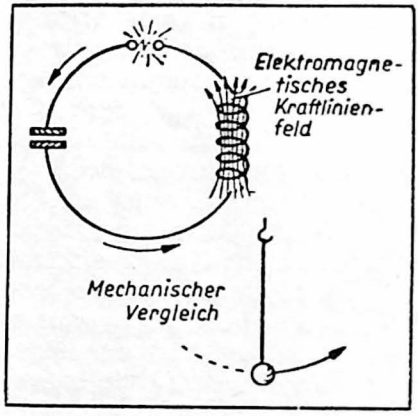
Kehren wir zu unserem elektrischen Schwingungskreis, bestehend aus Kondensator und Spule zurück, dem wir eine kleine Funkenstrecke eingebaut haben.



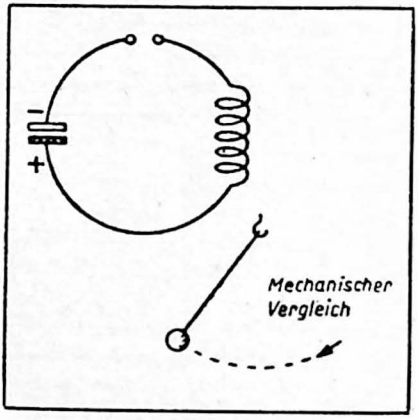
Die „Spule" stellen wir uns so vor, wie im Bilde gezeigt, als einen Zylinder aus Isoliermaterial, auf dem mehrere Windungen Drahtes aufgewickelt sind (das Schaltzeichen der Spule besteht lediglich aus einem spiralförmigen Linienzug).



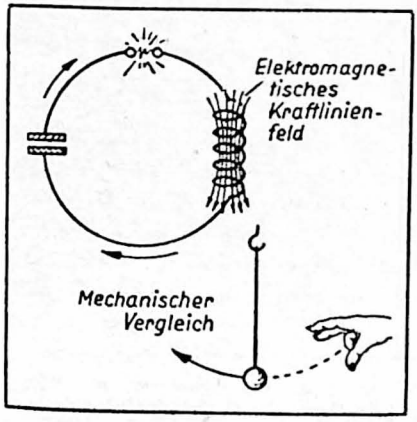
Nehmen wir an, wir hätten den Kondensator auf irgendeine Weise „geladen". Der eine Belag des Kondensators ist dann positiv, der andere negativ. Die Verhältnisse im Schwingungskreis liegen, ins Mechanische übersetzt, so wie bei einem Pendel, das auf eine gewisse Höhe angehoben (aber festgehalten) wurde.



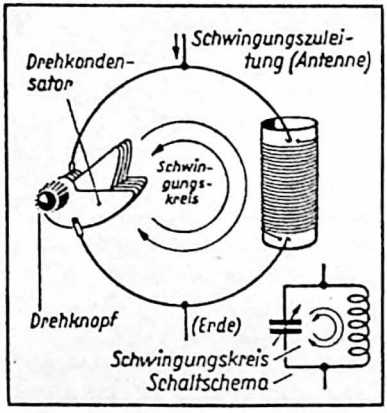
Verkleinern wir die Funkenstrecke, dann springt ein Funke über: der Kondensator entlädt sich, wobei ein Strom zunehmender Stärke entsteht, der durch die Spule fließt. Beim Stromfluß durch eine Spule bildet sich ein „elektromagnetisches Feld" aus, so wie wir es vom Elektromagnetismus her kennen (bei welchem zur besseren Ausnützung des Feldes ein Eisenkern in die Spule eingeschoben wurde). Im mechanischen Vergleich hat das losgelassene Pendel seine tiefste Lage erreicht.



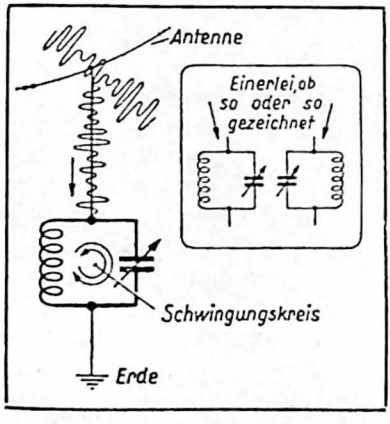
Infolge seiner Trägheit schwingt das Pendel über den Totpunkt nach der anderen Seite hinaus. Auf die elektrischen Verhältnisse übertragen sorgt die „Induktivität" der Spule (Trägheit) für ein Weiterfließen des Stromes: der Kondensator wird in entgegengesetzter Richtung aufgeladen. – Das Pendel erreicht einen Höhepunkt auf der anderen Seite.



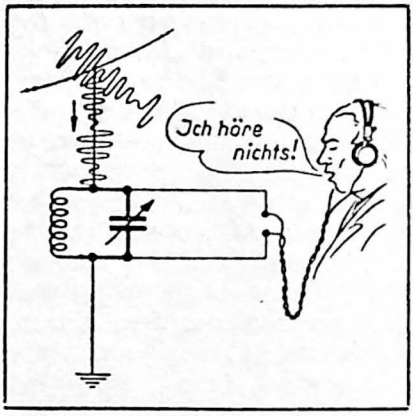
Der Vorgang wiederholt sich darauf in umgekehrter Richtung und ständig so weiter, bis sich die Energie durch Verluste (die sich nie und nirgends ganz vermeiden lassen) allmählich erschöpft. – Im mechanischen Vergleich hört jedes Pendel ebenso allmählich auf zu schwingen (wenn ihm nicht ständig neue Energie zugeführt wird).



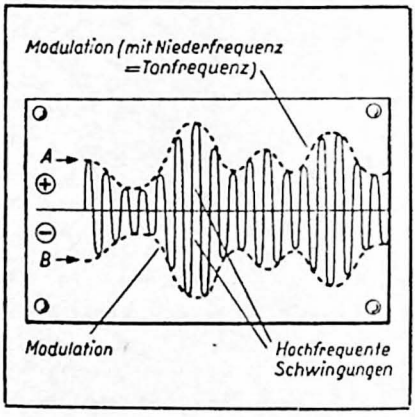
Nehmen wir im mechanischen Vergleich weiter an, wir würden das Pendel zu geeigneten Zeitpunkten immer wieder neu anstoßen, so daß es ständig gleichmäßig hin und her schwingt.— Im elektrischen Schwingungssystem läßt sich das erreichen, wenn der Kondensator in gleichbleibendem Rhythmus immer neu aufgeladen wird. Dann werden die elektrischen Schwingungen aufrecht erhalten. Wichtig ist nur, daß der elektrische Schwingungskreis auf die ankommenden Impulse „abgestimmt" ist, daß z. B. der Kondensator nicht zu groß und nicht zu klein ist. Deshalb verwenden wir zur „Abstimmung" einen in seinem Kapazitäts-Wert veränderlichen Drehkondensator. (In einem späteren Kapitel wird auf die beiden wichtigen Schaltelemente Spule und Kondensator nochmal besonders zurückgegriffen.)



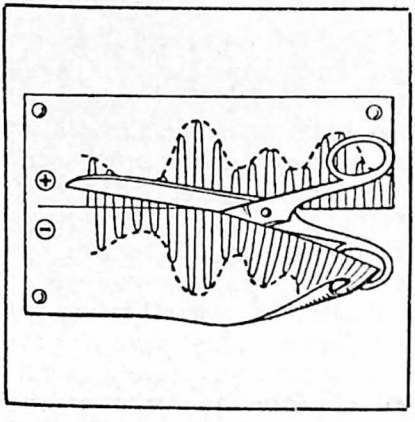
Wo nehmen wir die elektrischen Stoßimpulse her? Ganz einfach aus den im Äther herumschwirrenden Rundfunk-Sender-Wellen. Wir fangen sie mit Hilfe einer Antenne auf und leiten sie dem Schwingungskreis zu. Ist der Schwingungskreis auf die Frequenz einer der ankommenden Wellen abgestimmt – was wir durch geeignete Einstellung des Drehkondensators erreichen können – dann werden kräftige Schwingungen der gleichen Frequenz angeregt. Die ankommende Schwingung braucht nur ganz schwach zu sein: Resonanz! — Den wichtigsten Teil eines Rundfunkempfängers haben wir damit kennen gelernt, den Schwingungskreis.



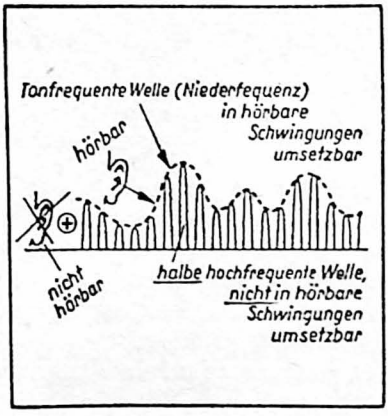
Die Senderwelle bringt in eine elektrische Form gebracht Schallschwingungen mit, die wir ihr abnehmen wollen. Doch würden wir versuchsweise einen Kopfhörer an den Schwingungskreis anschließen, dann würden wir keinen Ton hören.



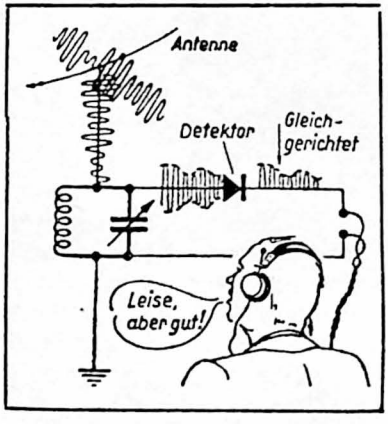
Die ankommende „modulierte" hochfrequente Senderwelle sieht so aus wie in der Zeichnung. Die aufgegebene Schallwelle (in elektrischer Form), die (punktiert) im positiven Teil (A) angedeutet ist, wiederholt sich im negativen Schwingungsgebiet (B). Die Plus- und Minuswerte heben sich bei unserem Versuchsverfahren im Kopfhörer gegenseitig auf.



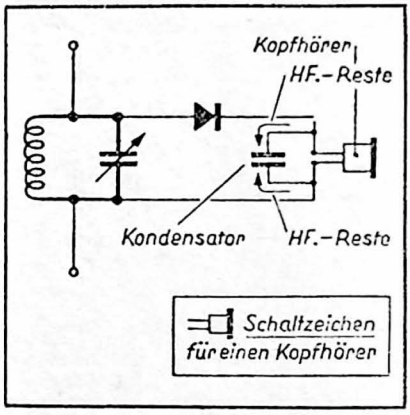
Man muß also z. B. den unteren Teil der Wellen „abschneiden". Mit anderen Worten, man muß die Wellenzüge „gleichrichten". Das und wie das möglich ist, haben wir in dem Abschnitt über „Gleichrichter" nachgelesen.



Wenn die Wellenzüge nach der Gleichrichtung, wie hier skizziert, nur im positiven Gebiet verlaufen, dann kann der Kopfhörer auf die tonfrequenten Schwingungszüge (Niederfrequenz) ansprechen. Auf die hochfrequenten Restwellen reagiert er nicht, sie sind viel zu schnell, als daß die Membran des Kopfhörers auf sie ansprechen könnte, ganz abgesehen davon, daß unsere Ohren schnellere Schwingungen als höchstens 16000 Hertz nicht aufnehmen können. Die hochfrequente Trägerwelle schwingt aber mit Hunderttausenden und Millionen Hertz!



Zur Gleichrichtung wurde bei dem ersten Empfänger ein „Kristalldetektor" verwendet, bestehend aus einem bestimmten Kristall und einer dünnen auf ihn drückenden Metallspitze. Ein derartiger „Detektor" läßt Strom nur in einer Richtung durch. Bauen wir einen Detektor in die „Schaltung" so ein, wie es das Bild zeigt, dann können wir im Kopfhörer aufnehmen, was die hochfrequente Sendewelle uns an Schallschwingungen mitbringt.



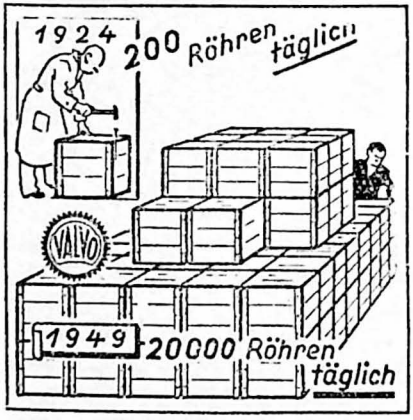
Eine Vervollkommnung des „Empfängers" besteht in der Zuschaltung eines kleinen Festkondensators „parallel" zum Kopfhörer. Kondensatoren lassen nämlich elektrische Wechselschwingungen hoher Frequenzen viel besser passieren, als die niedrigen Frequenzen. Ferner: je größer der Kapazitätswert des Kondensators ist, umso mehr niederfrequente Schwingungen werden von ihm duchgelassen. Die Größe des Parallel-Kondensators muß also ein ganz bestimmtes Maß haben.— Der Kondensator in unserer Schaltung ist in gewissem Sinne eine elektrische Weiche, deren Wirkung dadurch vergrößert wird, daß die Spule im Kopfhörer mit ihren vielen Windungen hochfrequente Schwingungen abbremst und nur schwer oder gar nicht hindurchläßt.

Wie an Stelle des Kristalldetektors zur Gleichrichtung eine Röhre verwendet werden kann, die gleichzeitig verstärkende Wirkung hat, soll in der nächsten Folge gezeigt werden.

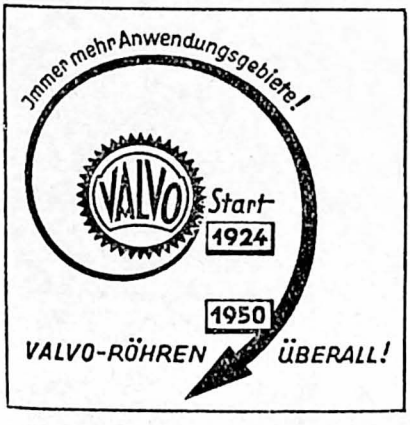
PHILIPS

E) KLEINE RÖHRENKUNDE

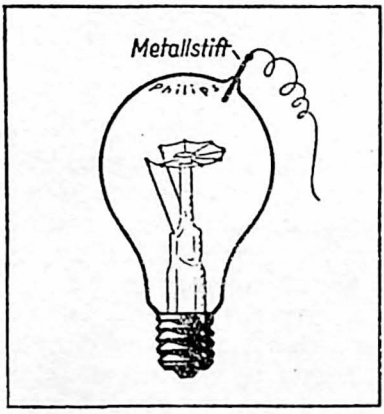
Es war in den Anfängen des Rundfunks, als die eben gegründete Valvo-Röhrenfabrik den Markt mit jenen Wundergebilden aus Glas und Metall zu versorgen begann, die damals der jungen Rundfunkindustrie und dem Heer der begeisterten Bastler so überaus gute Dienste taten: vor einem Vierteljahrhundert.



Inzwischen ist aus den ersten tastenden Versuchen, aus einer kleinen Fabrikation, bei der 200 Röhren je Tag als gute Leistung gewertet wurden, das Werk gewachsen, das wir heute kennen und für das wir uns einsetzen. Rekordzahlen von 20000 Stück täglicher Erzeugung stellen das Damals wahrlich in den Schatten. Und das Geheimnis des Erfolges: die Güte der Valvo-Röhren.

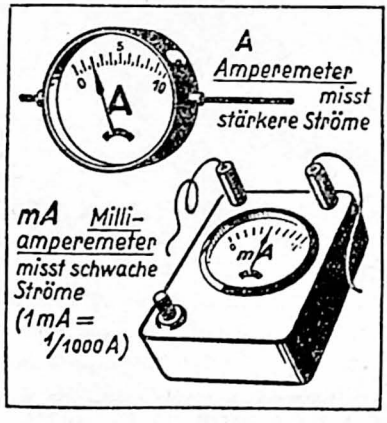


Doch wir wollen versuchen, in die Wesensart der Röhre, deren Anwendungsgebiete heute weit über den Rundfunk hinausreichen, deren wertvolle Dienste die Techniker allüberall zu verwerten und zu werten wissen, einzudringen.

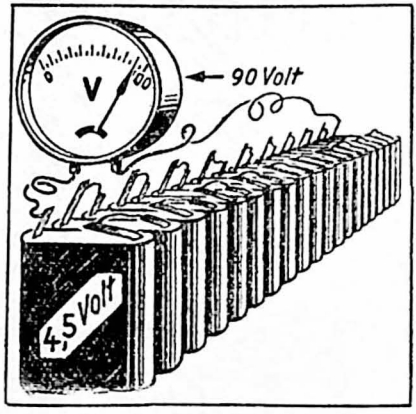


Stellen wir uns eine normale Glühlampe vor, durch deren Glaskolben ein Metallstift geführt wurde, ohne daß die Luftleere im Innern davon beeinträchtigt wurde.

Und nun wird's experimentell wissenschaftlich! Aber keine Angst, was kommt, ist ganz leicht zu verstehen, wenn wir ein klein wenig aus dem Kapitel, das sich mit den Grundzügen der Elektrotechnik befaßte, behalten haben.

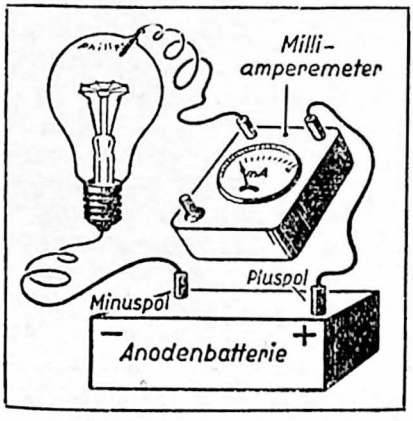


Wenn ein elektrischer Strom durch eine Leitung fließt, so können wir die Größe des Stromes mit Hilfe eines Strommessers, eines Amperemeters, messen. Für kleine Ströme benutzt man ein Instrument, das nicht Amperewerte anzeigt, sondern tausendstel Ampere; man nennt es „Milliamperemeter".

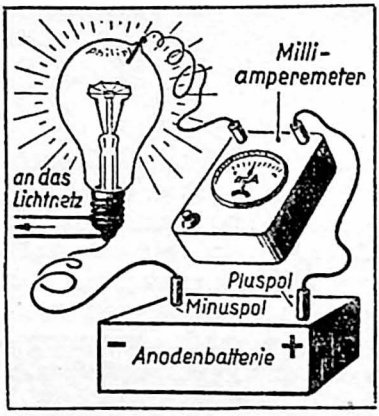


Zu den folgenden Experimenten brauchen wir eine größere Menge von Taschenlampenbatterien, etwa 20 Stück, so daß wir durch geeignetes Zusammenschalten der 4,5-Volt-Batterien (Hintereinanderschalten) eine große Gesamtspannung erzielen (bei 20 Batterien zu je 4,5 Volt insgesamt 90 Volt).

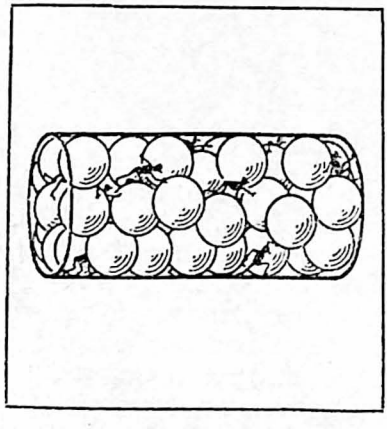
Wir können es auch einfacher haben, wenn wir in einem Radioladen eine fertige 90-Volt-Batterie verlangen. Die gibt es, zusammengestellt aus lauter kleinen Einzelelementen, wie jenen, aus denen sich eine Taschenlampenbatterie zusammensetzt. Man nennt sie „Anodenbatterie" — warum, das werden wir später lesen. — Man verwendet sie z. B. in tragbaren Rundfunkempfängern, in Koffergeräten. In den Anfängen des Rundfunks gehörten sie als eine der Strom- und Spannungsquellen zu jedem Empfänger.



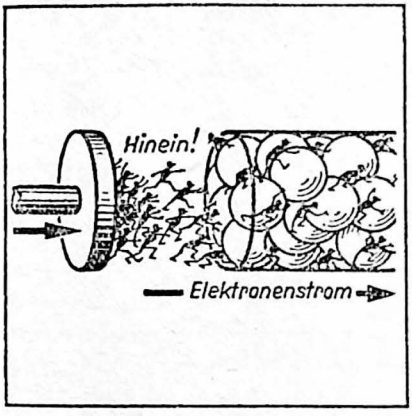
Mit den Hilfsmitteln Anodenbatterie und Milliamperemeter gehen wir an die Versuche mit der vorbereiteten Glühlampe. Wir bauen eine „Schaltung" auf, so wie sie das Bild zeigt. Wird das Milliamperemeter einen Stromfluß anzeigen? Ganz bestimmt nicht, denn die Leitung ist ja unterbrochen, der Stromkreis nicht geschlossen.



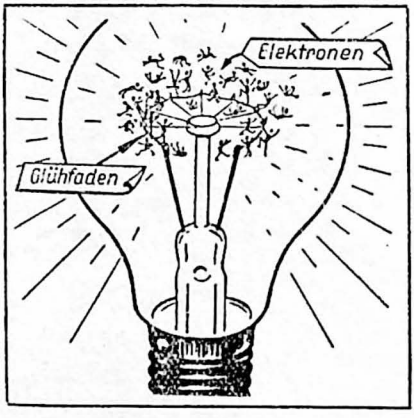
Wird die Glühlampe dadurch, daß sie in ganz normaler Weise an das Lichtnetz angeschlossen wird, zum Leuchten gebracht, so ereignet sich etwas zunächst für uns ganz Merkwürdiges: das Milliamperemeter schlägt aus, es zeigt das Fließen eines elektrischen Stromes an. Die Lücke im Stromkreis zwischen Glühfaden und Metallstift muß also irgendwie überbrückt worden sein. Aber wie?



Ein klein wenig Theorie wird uns nicht schaden, und so soll die Frage, was eigentlich elektrischer Strom ist, an dieser Stelle kurz beantwortet werden, soweit das nach den Erkenntnissen der Wissenschaft überhaupt möglich ist. Ein Stück Leitungsdraht besteht im Kleinstgefüge aus Atomen, ein Kupferdraht aus lauter aneinanderliegenden Kupfer-Atomen, die wir uns als kleine Kugeln vorstellen wollen. Zwischen den Atomen halten sich die noch viel, viel kleineren „Elektronen" auf. Sie sind im Bilde als kleine schwarze Männchen dargestellt.

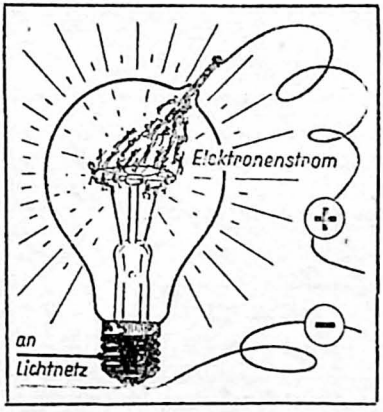


Drücken jetzt neue Elektronen — etwa am Anfang der Leitung — nach, dann kommen die anderen im Draht befindlichen Elektronen in Bewegung, in Fluß: Stromfluß. Das ist z. B. dann der Fall, wenn sie von Generatoren, die man als Elektrizitätspumpen bezeichnen könnte, zum Wandern angeregt werden. Der Elektronenstrom, d. h. der elektrische Strom, bewegt sich in Stromkreisen stets von Minus (—) nach Plus (+) hin. Mit diesem Wissen kann die Brücke zum Verständnis der Vorgänge innerhalb unserer Versuchsglühlampen geschlagen werden, wie wir gleich sehen werden.

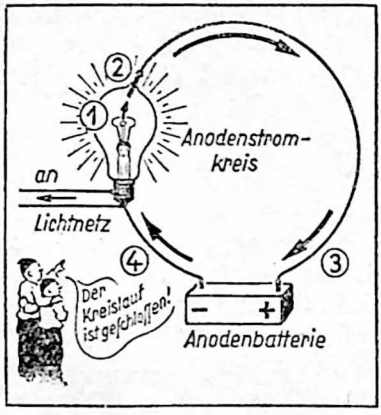


Die Elektronen, die sich natürlich auch im Glühfaden der Lampe befinden, treten bei seiner Erhitzung aus diesem heraus. Sie schwirren in Mengen um den Glühfaden herum.

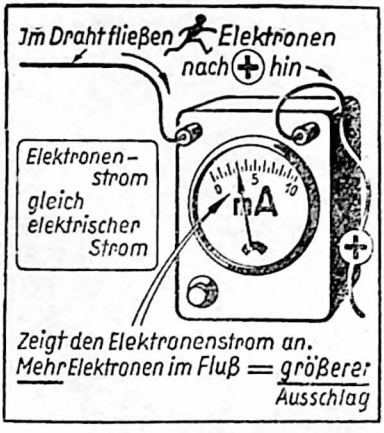
Oben im Kolben der Röhre befindet sich aber ein Anziehungspunkt für die Elektronenmännchen, der Metallstift, der am Pluspol der „Anodenbatterie" liegt. Hier herrscht nämlich Elektronenmangel, den die „freien" Elektronen im Glaskolben auszugleichen versuchen.



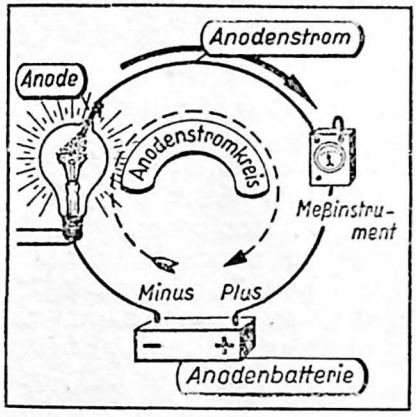
So kommt es, daß die Elektronen sich nicht lange in der Umgebung des Glühfadens aufhalten, sondern auf den Metallstift zustreben und in ihm verschwinden. Neue Elektronen stoßen nach.



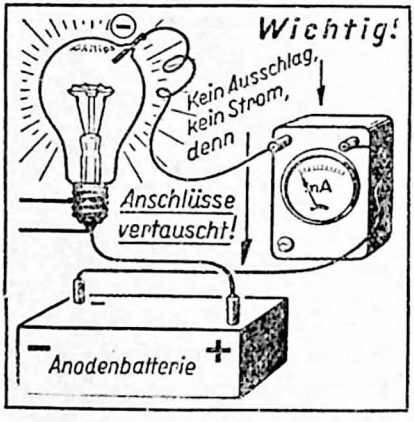
Der Elektronenstromkreis ist geschlossen: die Elektronen „fließen" vom Glühdraht durch das Vakuum der Röhre (1) über den Metallstift (2) und die angeschlossene Leitung zur Anodenbatterie (3) und von dieser wieder zum Glühfaden (4). In diesem Fall wirkt die Anodenbatterie wie eine elektrische Pumpe, die den Kreislauf aufrecht erhält.



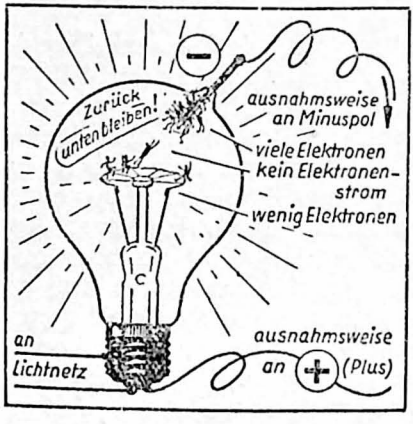
Der Elektronenstrom ist gleichbedeutend mit dem „elektrischen Strom". Daher schlägt das Milliamperemeter, das in den Stromkreis gelegt ist, aus: es zeigt an, daß Strom fließt, und auch wieviel Strom fließt, sagen wir z. B. 5 mA (5 Milliampere).



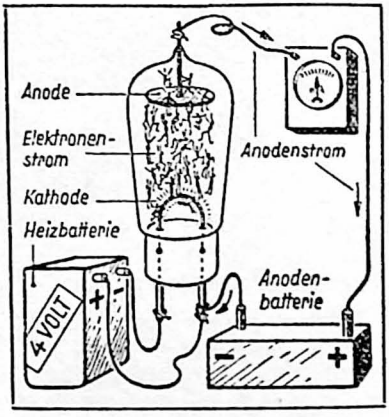
Den Metallstift nennt man „Anode", den über (oder durch) ihn fließenden Strom mithin „Anodenstrom", die den Strom in Fluß haltende Batterie „Anodenbatterie".



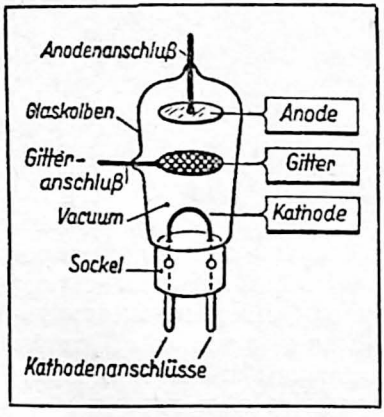
Machen wir den Versuch, die Anodenbatterie umgekehrt anzuschließen, so daß ihr Minuspol (über das Meßinstrument) mit der „Anode" verbunden ist, so beobachten wir, daß kein Strom im „Anodenkreis" fließt (das Instrument schlägt nicht aus)!



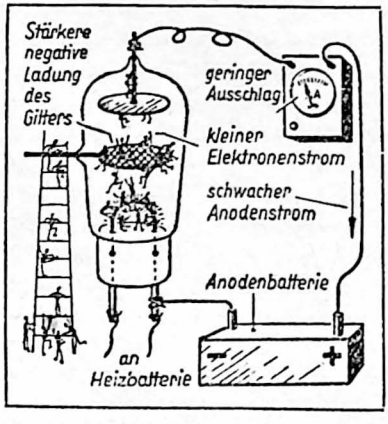
Und der Grund dafür? Am Minuspol sammeln sich viele Elektronen an: Elektronenüberschuß! Die auf der Anode sitzenden Elektronenmännchen verteidigen ihren engen Raum und stoßen die wenigen von dem Glühfaden abfliegenden Elektronen kräftig zurück. Also: Pluspol der Anodenbatterie an die Anode, Minuspol an den Glühfaden, damit an der Anode ein Elektronenmangel und am Glühfaden ein Elektronenüberschuß auftritt.



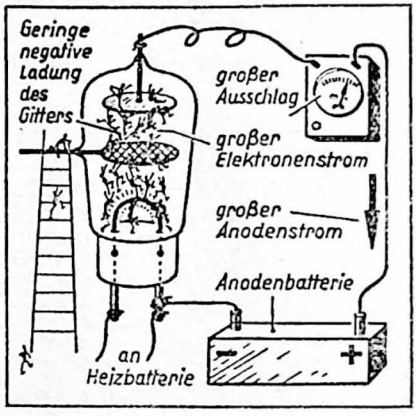
Um den Elektronenstrom innerhalb der Lampe noch kräftiger werden zu lassen, wurde die Anode zu einer Platte erweitert und für den Glühdraht ein Material gewählt, das beim Erhitzen besonders viele Elektronen aussendet. Man nennt den „Heizfaden" übrigens „Kathode"; er ist so bemessen, daß zu seinem Glühendmachen eine kleine Batterie, die „Heizbatterie", genügt.



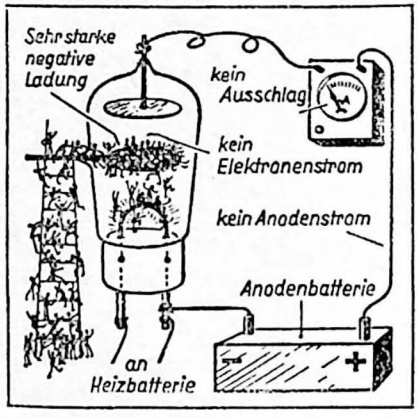
Gehen wir noch einen Schritt weiter, wobei wir den Entwicklungsarbeiten der Erfinder folgen: wir bauen eine gitterartige Einrichtung zwischen „Anode" und „Kathode" in die „Röhre" ein, und versehen sie mit einem Anschluß außerhalb der Röhre.



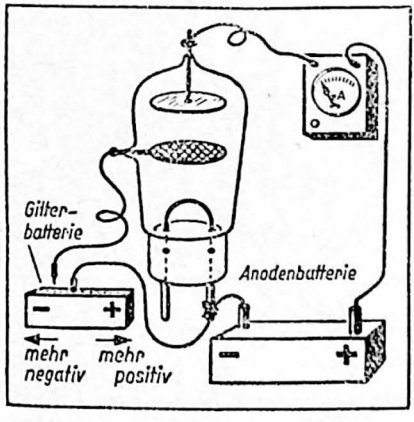
Jetzt geht's wieder ans Experimentieren: wir geben dem „Gitter" eine negative „Ladung", d. h. wir schicken Elektronen auf das Gitter.– Was hat das zur Folge? Die sich auf dem Gitter ansammelnden Elektronen wehren sich gegen den Durchflug der vom Heizfaden abfliegenden Elektronen, so daß es nur wenigen von den Heizfaden-Elektronen gelingt, zur Anode durchzudringen. Die meisten werden abgestoßen, zurückgeworfen.



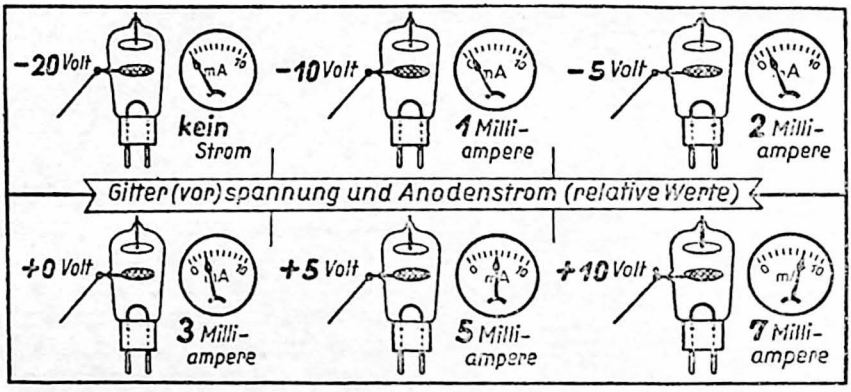
Sitzen wenige Elektronen auf dem Gitter (geringe negative Ladung), so gelingt es mehr anfliegenden Elektronen, durch das Gitter zu kommen: der Elektronenstrom zwischen Kathode und Anode ist relativ groß (mithin der „Anodenstrom" im „Anodenstromkreis" ebenso).



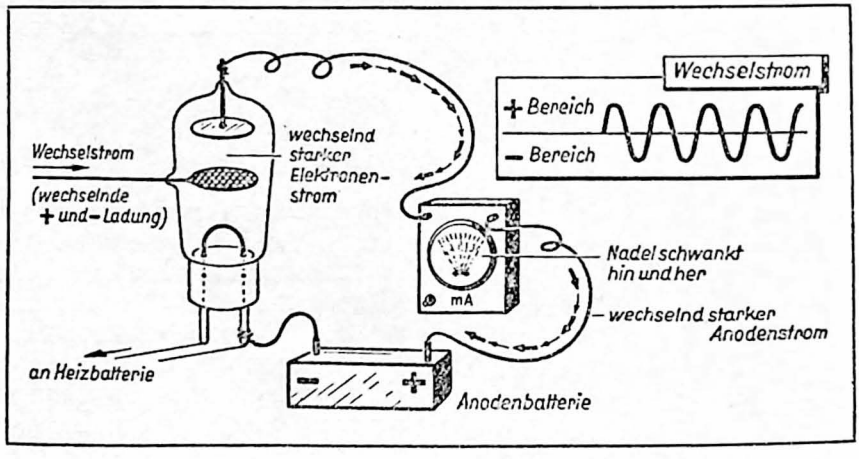
Ist das Gitter sehr stark mit Elektronen besetzt, dann kann es sein, daß sie den Heizfaden-Elektronen den Weg völlig sperren. Je nachdem wie das Gitter mit Elektronen besetzt ist, ob stark oder schwach, wird der Elektronenstrom innerhalb der Röhre schwach oder stark und mit ihm der Strom im „Anodenstromkreis".



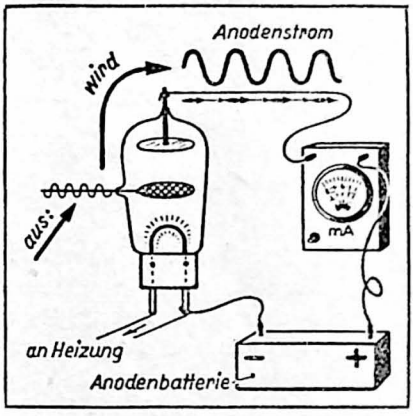
Praktisch kann man die Gitter-„Ladung" auf einfache Weise regeln. Man nimmt eine dritte Batterie (Gitterbatterie) zu Hilfe, die man mit der Kathode verbindet und richtet es so ein, daß man dem Gitter eine größere oder kleinere negative oder positive „Ladung" geben kann. Nebenbei: bei „positiver" Ladung (= Elektronenmangel auf dem Gitter) wird der Elektronenstrom zur Anode hin noch begünstigt.



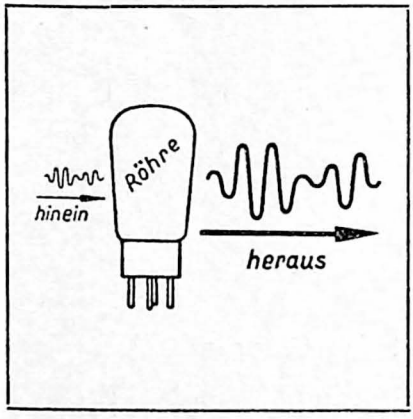
Das Gitter wirkt wie ein mehr oder weniger geöffnetes Tor für den Elektronenstrom, ja es hat bei positiver Ladung sogar „anziehende", elektronenstrom-fördernde Eigenschaften.



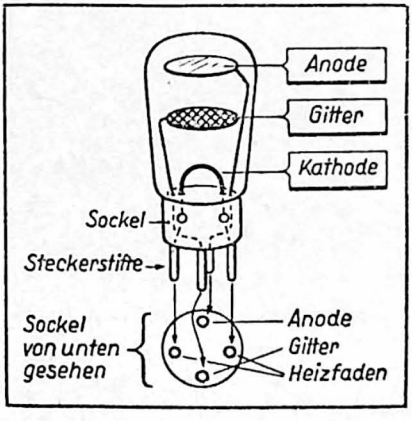
Führt man dem Gitter Wechselspannung zu, so heißt das mit anderen Worten, daß das Gitter einmal positiv und einmal negativ geladen wird. (Wechselstrom wechselt bekanntlich ständig seine Richtung!)



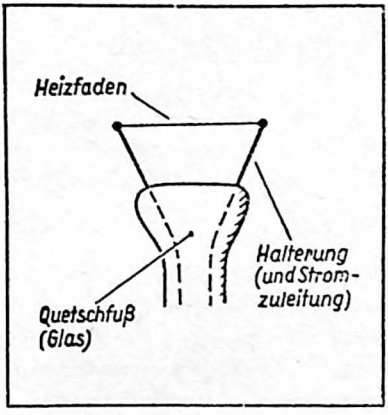
Die an das Gitter gelegte Wechselspannung findet ihr Abbild im Anodenstromkreis, in dem ein kräftiger hin und her schwankender Strom fließt.



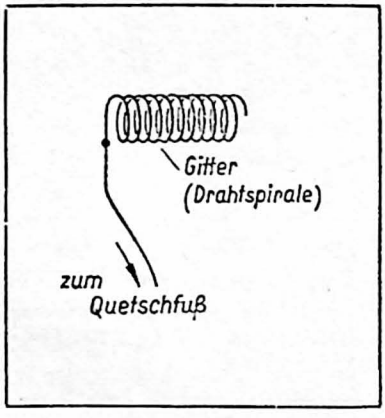
Man kann also mit Hilfe einer „Elektronenröhre" den Strom in einem anderen Stromkreis „steuern". Die ankommenden Wechselspannungen brauchen nur schwach zu sein, sie rufen trotzdem einen gleichartig hin und her pendelnden viel stärkeren Anodenstrom hervor: Verstärkerwirkung der Röhre (Verstärkerröhre).



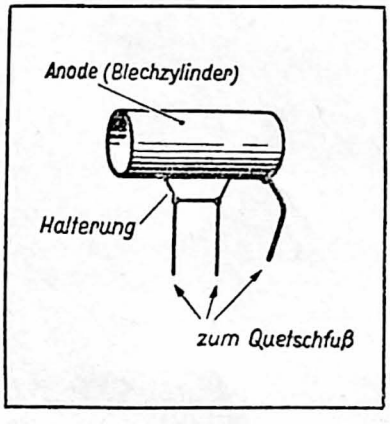
Der praktische Aufbau einer modernen Elektronenröhre sieht etwas anders aus als unsere Versuchsmodelle. Die Anschlüsse zur Anode, zum Gitter und zum Heizfaden befinden sich am Sockel der Röhre, z. B. als Steckstifte.



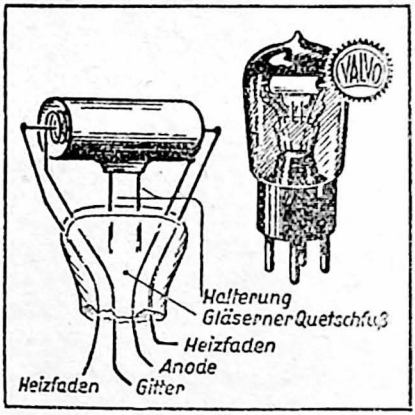
Damit die Bauelemente innerhalb der Röhre wirksamer sind, hat man ihnen mit der Zeit geeignetere Formen gegeben und sie geschickter angeordnet. Der Heizfaden wurde lang ausgestreckt .



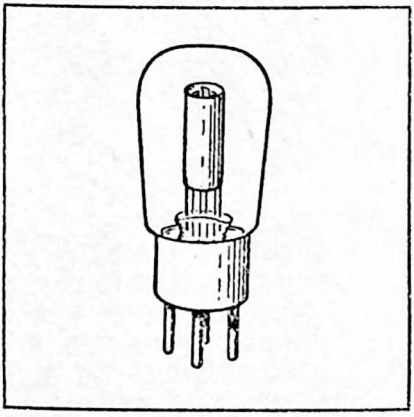
. . . das Gitter erhielt die Form einer in geringem Abstand um den Heizfaden gelegten Spirale..



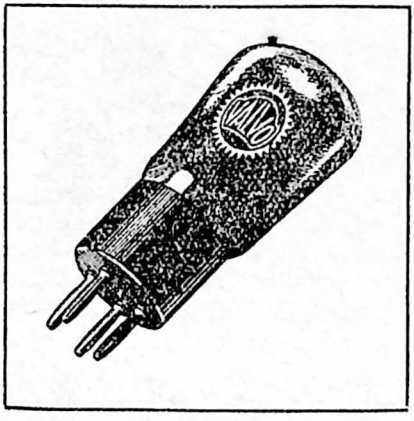
. . . die Anode wurde als Zylinder ausgebildet und ebenfalls mit geringem Abstand über das Gitter geschoben.



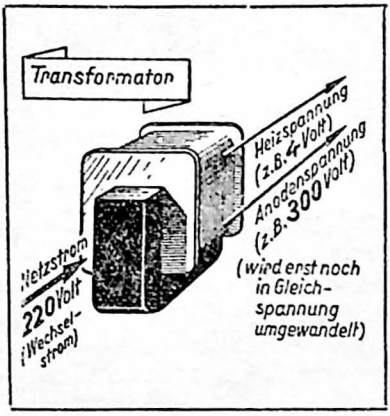
Den Zusammenbau einer einfachen Röhre zeigt das etwas schematisierte Bild. Die Anschlußdrähte für Heizfaden, Gitter und Anode führen durch einen gläsernen Quetschfuß zu den Sockelkontakten.



In anderen Anordnungen sitzt das gleiche System senkrecht im Glaskolben.

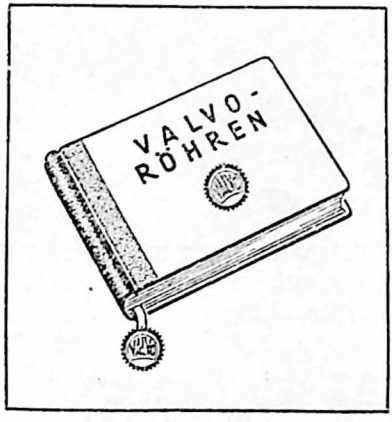


In dieser einfachsten Ausführung (heute meist mit andersgearteten Sockelkontakten) stellt sich uns die „Dreipolröhre" oder Triode dar (drei Pole: Heizfaden, Gitter, Anode).



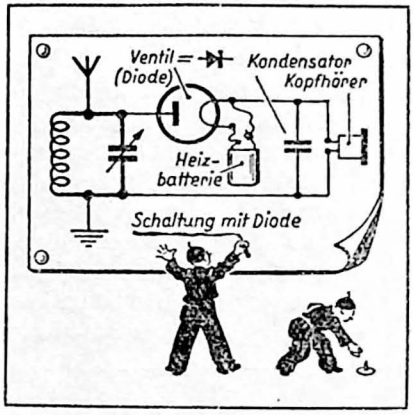
In modernen Wechselstromgeräten werden die Röhren über Transformatoren mit allen notwendigen Betriebsspannungen versorgt, und zwar für die Heizung mit Wechselstrom und über Gleichrichter mit dem erforderlichen Anoden-Gleichstrom.

Was solche Röhren, deren Glaswandungen aus bestimmten Gründen teilweise verspiegelt sind, im einzelnen und besonderen alles zu leisten vermögen, geht aus den folgenden Abschnitten hervor.

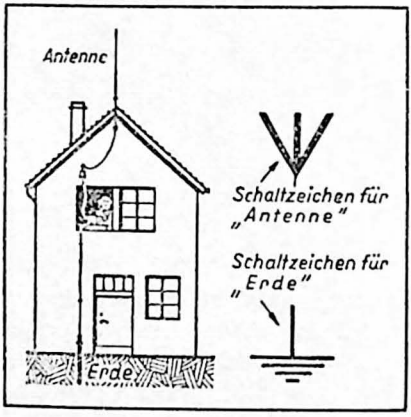


Man muß sich merken: Valvo-Röhren sind Qualitätsröhren; das Fabrikationsprogramm der Valvo-Werke enthält Röhren für jeden Verwendungszweck.

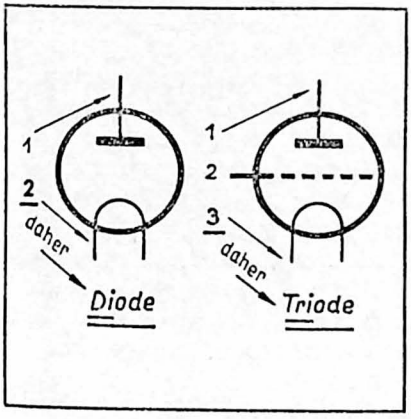
F) EMPFANG MIT EINER RÖHRE



Die Gleichrichterwirkung der Elektronenröhre ist uns bekannt. Wir könnten uns daher vorstellen, daß wir sie an Stelle eines Kristalldetektors in einem Empfänger verwenden. In der Tat ist das praktisch möglich. Geht man dabei vor wie im Schaltbild gezeigt, dann bedarf es nicht einmal einer Anodenspannungsquelle. Die ankommenden Schwingungen liefern die erforderlichen Spannungen. Allerdings muß die gitterlose Röhre, die man „Diode" oder „Zweipol-Röhre" nennt, geheizt werden. Eine Heizbatterie ist also nicht zu umgehen.

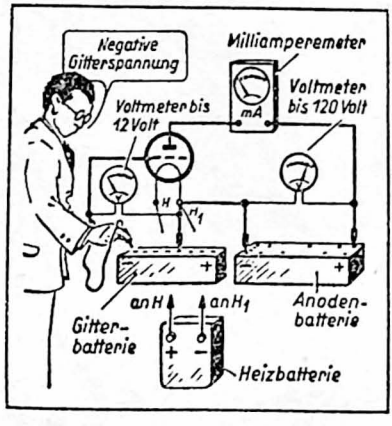


Nebenbei: Im Schaltbild finden wir zwei neue Schaltzeichen, das für die Antenne – sie wird vereinfacht durch einen nach unten weisenden Pfeil dargestellt – und das für die „Erde".

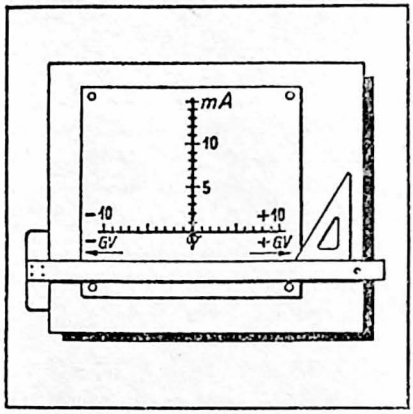


Die Verwendung einer Röhre (Diode) in der oben angegebenen Schaltung an Stelle des Kristalldetektors bringt uns keine Vorteile, obendrein muß eine Batterie verwendet werden. Hier kommen uns die Röhreneigenschaften der „Triode" (oder Dreipolröhre), der Röhre mit einem „Gitter" zu Nutzen

Um die Arbeitsweise der Röhren in den verschiedenen Empfängerschaltungen besser verstehen zu können, müssen wir noch ein wenig Theorie treiben, unterstützt durch einige Experimente. – Zu jeder Röhre gehört eine „Kennlinie", wie eine „Kennkarte" zu jeder Person gehört. Die Kennlinie einer Röhre gibt Auskunft über ihre wichtigsten Eigenschaften.

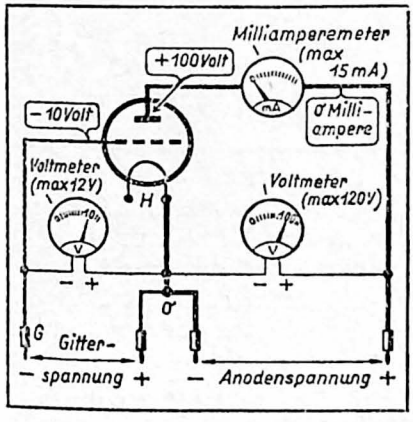


Zur Aufnahme der Kennlinie (oder „Charakteristik") einer Triode müssen wir eine Schaltung aufbauen, wie sie uns im Prinzip aus früheren Darlegungen bekannt ist. Die Anodenspannung wird von einer Anodenbatterie geliefert, die Gitterspannung von einer Gitterbatterie, die es gestattet, negative oder positive Spannungswerte an das Gitter der Röhre zu legen. Um die auftretenden Strom- und Spannungswerte, die uns für die Beurteilung der Röhre interessieren, genau bestimmen zu können, schalten wir ein Milliamperemeter in den Anodenstromkreis; die Gitter- und Anoden-Spannungen lesen wir an zwei entsprechend zugeschalteten Voltmetern ab.



Sodann bereiten wir uns ein Blatt vor, auf das wir ein „Achsenkreuz" zeichnen. Eine Waagerechte wird in Gitterspannungswerte unterteilt; von einem mittleren Nullpunkt aus werden nach rechts hin positive Werte und nach links hin negative Werte aufgetragen. Die durch den Nullpunkt auf der Waagerechten geführte Senkrechte wird in Milliamperewerte unterteilt.

Dann geht's an die Arbeit. Die Röhre wird zunächst „geheizt". Mit Hilfe des Stöpsels G wird dann eine „negative" Gitterspannung eingestellt, sagen wir von minus 10 Volt.

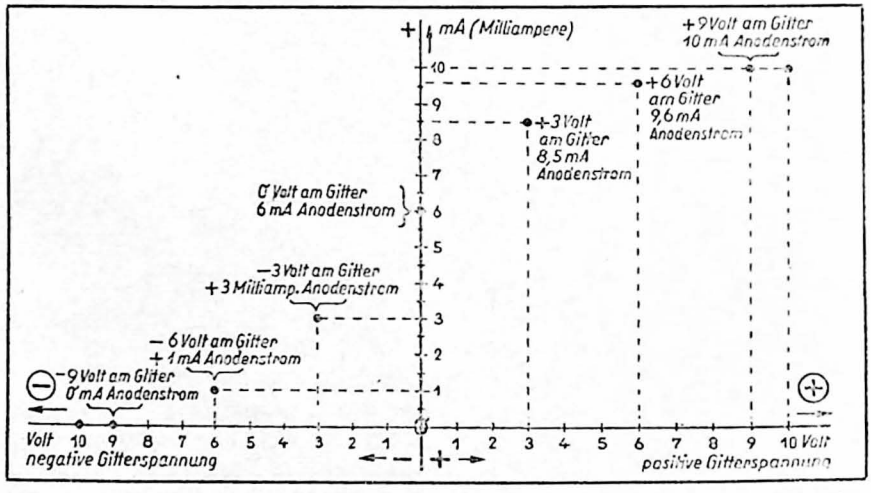


Die Anodenspannung soll 100 Volt betragen. (Der Leser muß jetzt schon so weit sein, daß er eine vereinfachte Darstellung, wie sie das Schaltbild wiedergibt, zu lesen versteht.) – Das Milliamperemeter zeigt keinen Stromfluß an. Grund: die starke negative Gitterladung läßt keine der (negativ geladenen) Elektronen durch; es fließt kein Elektronenstrom zur Anode hin, mithin kein Anodenstrom im Anodenstromkreis.

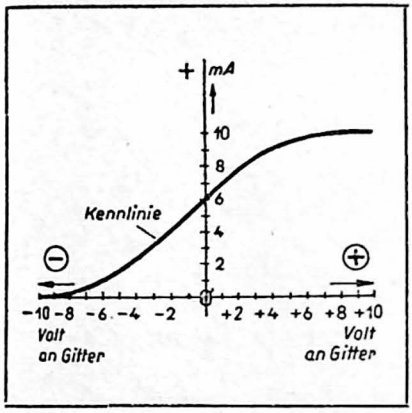
Spannung am Gitter (Ug)	Strom im Anodenkreis (Ja)
Volt	Milliampere
10	0
9	0
6	1
3	3
0	6
3	8,5
6	9,6
9	10
10	10

Nach Einstellung einer Gitterspannung von minus 9 Volt kontrollieren wir erneut das Milliamperemeter. Auch jetzt schlägt es nicht aus. Wir gehen mit der Gitterspannung auf −6 Volt unter ständiger Konstanthaltung der Anodenspannung. Jetzt zeigt das Milliamperemeter einen kleinen Ausschlag: wir lesen 1 mA (Milli-Ampere) ab. Bei −3 Volt Gitterspannung steigt der Anodenstrom auf 3 mA. Bei 0 Volt Gitterspannung erhöht sich der Anodenstrom auf 6 mA. Jetzt wird eine positive Gitterspannung von +3 Volt angelegt. Ergebnis: 8,5 mA Anodenstrom. Bei +6 Volt Gitterspannung lesen wir 9,6 mA ab, bei +9 Volt 10 mA. Die Versuchsreihe ist damit vorläufig abgeschlossen. Die Werte haben wir tabellenartig notiert: links die Gitterspannungen, rechts die dazugehörigen Anodenstromwerte.

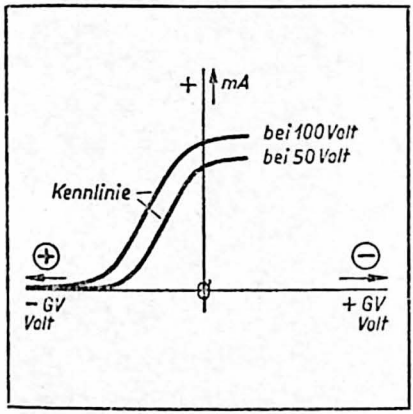
Diese kleine Tabelle ist uns bei der Eintragung der gefundenen Werte in das oben erwähnte Achsenkreuz von Nutzen. Wir gehen der Reihe nach vor und tragen an entsprechenden Stellen Punkte in das Achsenkreuz ein.



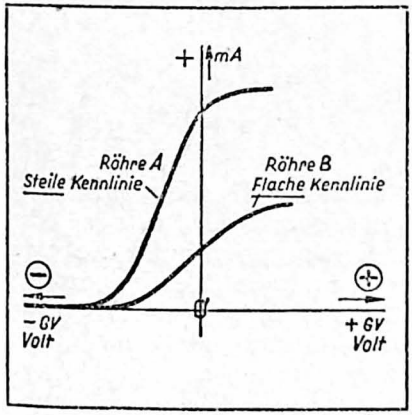
Minus 10 Volt Gitterspannung finden wir bei −10 auf der Waagerechten ganz links. Zugehörig sind Null Milliampere Anodenstrom. Null Milliampere liegen in der Höhe der Waagerechten. Bei −10 Volt wird demnach ein Punkt auf der Waagerechten vermerkt. Entsprechend bei 9 Volt, denn auch jetzt ist der Anodenstrom gleich Null. Bei Minus 6 Volt Gitterspannung tragen wir in Höhe von 1 mA (senkrecht über −6V) einen Punkt in die „grafische Darstellung" ein. Ebenso bei −3 Volt Gitterspannung in Höhe der abgelesenen 3 mA, usw. wie es das Bild zeigt.



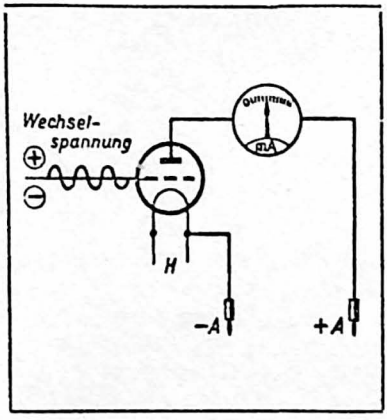
Die so gefundenen Punkte werden durch eine Kurve miteinander verbunden: die Kennlinie unserer Röhre ist fertig. Sie gilt allerdings nur für angelegte 100 Volt Anodenspannung.



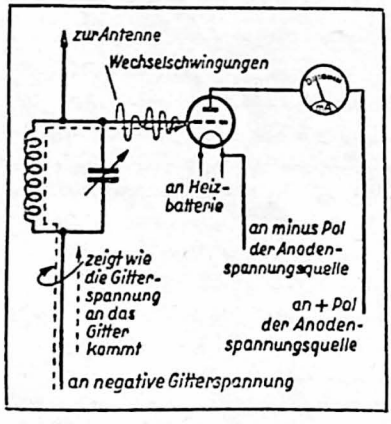
Bei einer anderen Anodenspannung, sagen wir von 50 Volt, würde sie ähnlich aussehen, aber mehr nach rechts verrutscht sein.



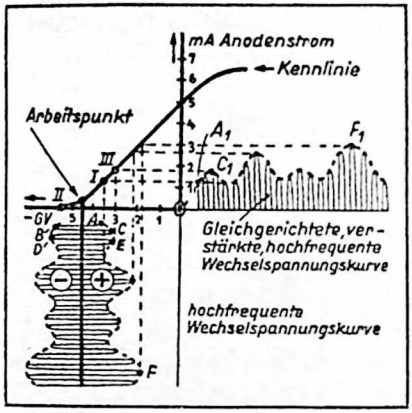
Die „Gitterspannungs-Anodenstrom"-Kennlinie einer Röhre verläuft je nach den Röhreneigenschaften steiler oder flacher. (Es gibt auch noch andere Darstellungen der Röhren-Kennlinien.) Je steiler und geradliniger (wenigstens in ihrem Hauptteil) die Kennlinie verläuft, um so günstiger ist die entsprechende Röhre für unsere Zwecke. Das werden wir gleich einsehen.



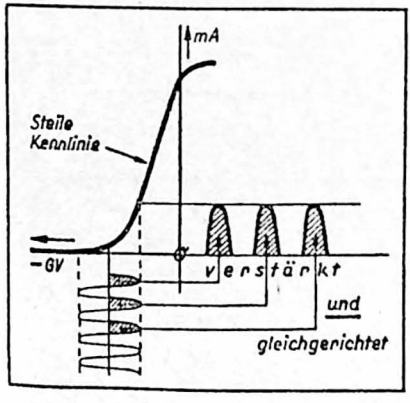
Was geschieht, wenn wir dem Gitter der Röhre eine Wechselspannung zuführen?



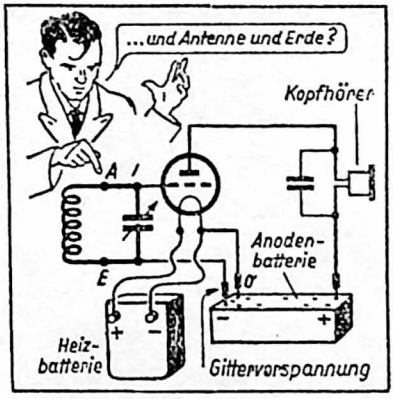
Das kann z. B. über einen Schwingungskreis erfolgen, in dem eine Sendewelle schwingt, die von einer Antenne aufgenommen wurde. Bei diesem theoretischen Versuch führen wir dem Gitter eine bestimmte negative Vorspannung zu.



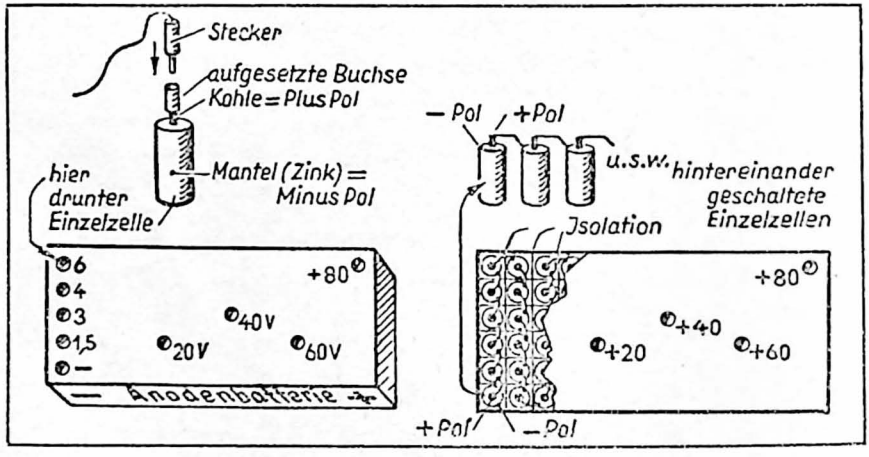
Übertragen auf das Kennlinienbild, ergeben sich folgende Verhältnisse, die gar nicht so schwer zu verstehen sind, wenn wir uns nur etwas Mühe geben. - Die Spannung am Gitter der Röhre beträgt −4,5 Volt. Die Wechselspannungen der modulierten Senderwelle treffen auf das Gitter und verändern mit ihren einmal positiven und einmal negativen Werten den Gitterspannungswert. Wie das vor sich geht, kann dem unteren Teil der Zeichnung entnommen werden. Bei A ist durch eine positive Halbwelle 1 Volt zur ursprünglichen Gitterspannung hinzugekommen. Sie beträgt dann nicht mehr −4,5 Volt, sondern −3,5 Volt. Dieser neuen Gitterspannung entspricht der Punkt I auf der Kennlinie, bzw. einem Anodenstrom von rund 1,2 mA (wie wir auf der senkrechten Achse ablesen). Bei dem kurz darauf gegebenen Spannungswert (hochfrequente Wechselspannungskurve) von 1 Volt bei B wird die Gitterspannung um 1 Volt (nach der negativen Seite hin) vergrößert; sie beträgt hier −5,5 Volt. Bei dieser Gitterspannung fließt kein Anodenstrom (II). Nimmt die Wechselspannung sodann den Wert +1,5 an (bei C) dann beträgt die Spannung am Gitter −3 Volt (nämlich −4,5 Volt +1,5 Volt). Diesem Gitterspannungswert entspricht ein Anodenstrom von rund 1,8 mA. (III bzw. CI). Im nächsten Augenblick, bei D, ist wieder eine Vergrößerung der negativen Gitterspannung eingetreten, so daß kein Anodenstrom fließen kann, der erst wieder auftritt, wenn die Wechselspannungskurve in den positiven Bereich übergegangen ist.



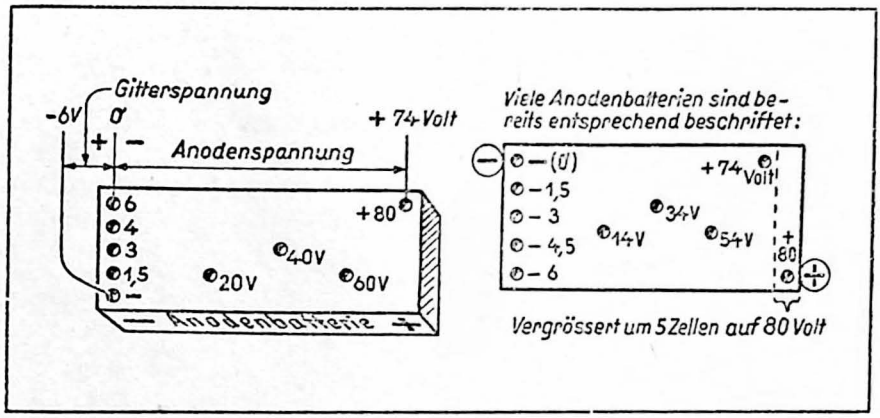
Man erkennt: die negativen Schwingungsanteile der ankommenden Schwingungen werden abgeschnitten: Gleichrichtung. Andererseits tritt eine Verstärkung der ursprünglichen schwachen Schwingungen ein, die um so größer wird, je steiler die Kennlinie verläuft.



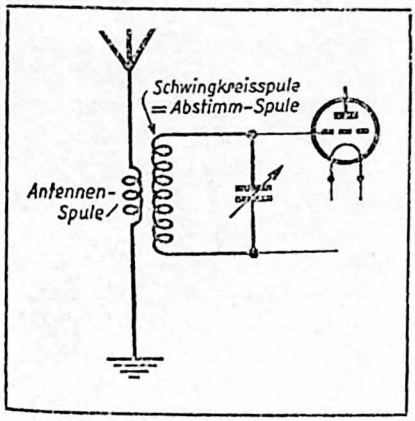
Diese Art der Gleichrichtung nennt man „Anodengleichrichtung". Die entsprechende Schaltanordnung ist hier skizziert. Zweierlei fällt uns daran auf. Einmal fehlt Antenne und Erde, doch darüber gleich mehr, sodann wurde keine besondere Gitterbatterie benutzt, das ist auch nicht unbedingt nötig, denn, wenn man es geschickt anstellt, kann man mit der Anodenbatterie und Heizbatterie allein auskommen.



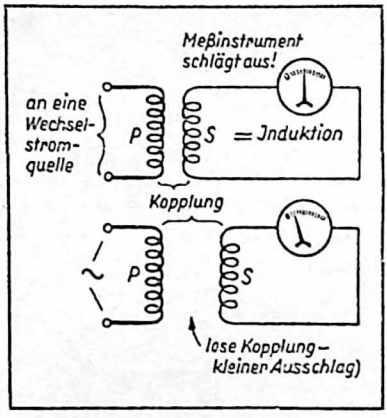
Die Anodenbatterien sind so aufgebaut, daß man wahlweise verschiedene Spannungen entnehmen kann. Sie bestehen aus einzelnen Elementchen, die hintereinandergeschaltet sind, und von denen jedes eine Spannung von ca. 1,5 Volt hat. Zwischen dem Abgriff (Buchse) nach der ersten „Zelle" und der Anschlußbuchse – (Minus) herrscht also eine Spannung von +1,5 Volt. Nach der zweiten Zelle kann man +3 Volt, nach der dritten +4,5 Volt, nach der vierten +6 Volt abnehmen.



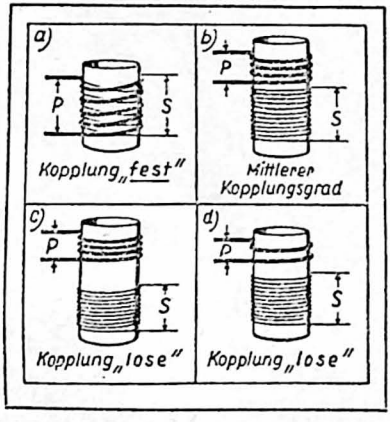
Verschiebt man nun den „Minus"-Abgriff auf den Anschluß +6 Volt, so kann man nach unten hin negative Spannungswerte abnehmen (Gittervorspannung), während die positive Anodenspannung natürlich um 6 Volt vermindert ist.



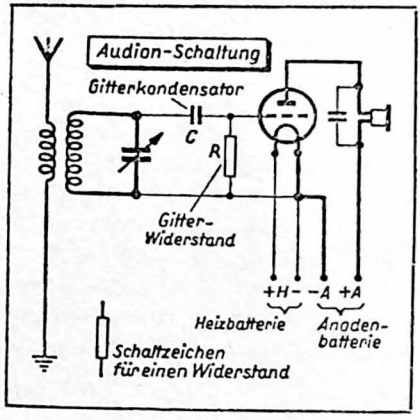
Was den Antennenanschluß anbelangt, den man direkt an den Schwingungskreis legen kann (wie im letzten Schaltbild bei A; Erde bei E), so geht man in der Praxis anders vor: Man „koppelt" eine besondere Antennenspule mit der Schwingkreisspule und führt dieser die Antennenenergie zu.



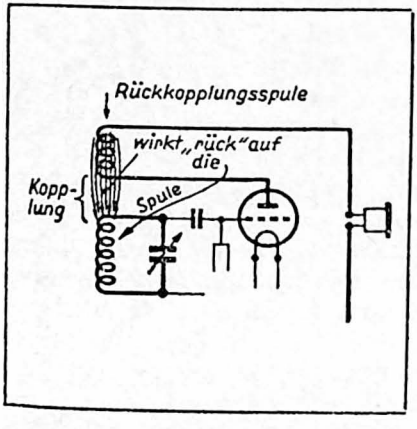
Eine wechselstromdurchflossene Spule beeinflußt nämlich eine benachbarte Spule derart, daß in ihr eine Wechselspannung auftritt. Das wissen wir bereits aus der Folge „Wechselstrom und Transformatoren", wenn auch dort zur Unterstützung der Wirkung ein gemeinsamer Eisenkern in die Spulen eingeschoben wurde.— Je enger die „Kopplung" ist, um so stärker wird die zweite Spule (die Sekundärspule S) beeinflußt.



Der „Kopplungsgrad" kann durch verschiedene Maßnahmen verkleinert oder vergrößert werden. Wickelt man z. B. beide Spulen (isoliert voneinander) eng übereinander (a), dann ist der Kopplungsgrad groß (Kopplung=„fest"). Hat die Primärspule P einen gewissen Abstand von der Sekundärspule S, so ist der Kopplungsgrad geringer (b), man sagt „loser", bei weiterer Abstandsvergrößerung wird sie noch loser (c).

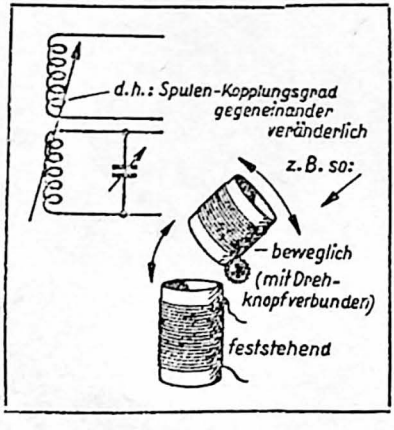


Praktisch verwendet man heute kaum mehr diese Urform der Spule; man benutzt modernere Ausführungen, auf die später kurz eingegangen wird. Wichtiger ist es jetzt, die Leser mit einer zweiten HF-Gleichrichterschaltung bekannt zu machen, mit der „Audionschaltung" (Gittergleichrichtung). Sie ist empfindlicher als die Anodengleichrichterschaltung. Außerdem ist der Verstärkungsgrad größer. – Die Vorgänge bei der Gittergleichrichterschaltung sind etwas kompliziert, deshalb wollen wir uns darauf beschränken, die Schaltung selbst anzugeben, bei der man auf eine besondere Gittervorspannung verzichten kann. Die Wechselschwingungen des Schwingungskreises werden dem Gitter über einen kleinen Kondensator C zugeführt, der für hochfrequente Schwingungen „durchlässig" ist. Die Schaltung bedingt ferner den Einbau eines „Gitterableitwiderstandes" R.

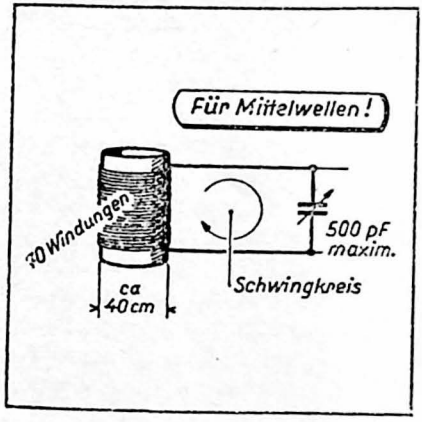


Die skizzierte Schaltung wird empfindlicher, wenn man eine sogenannte „Rückkopplung" einführt. Der Ausdruck wird verständlich, wenn man erfährt, daß dabei ein Teil der im Anodenkreis schwingenden Hochfrequenzhalbwellen über eine besonders angekoppelte Spule auf den Schwingungskreis „rückgekoppelt" wird.

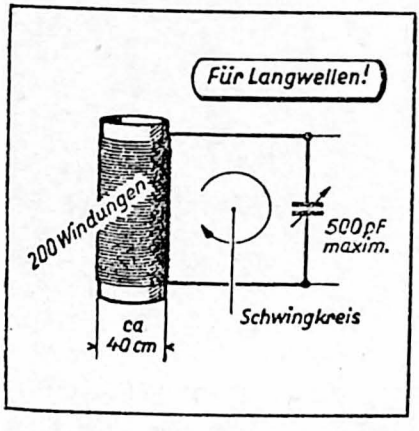
Die Rückkopplung kann lose oder fest sein. Wird sie zu fest, dann gibt es das unliebsam bekannte Rückkopplungspfeifen, das nicht nur von dem „Rückkoppler" an seinem Gerät selbst gehört wird, sondern auch von benachbarten Rundfunkhörern. Glücklicherweise sind Rückkopplungsempfänger selten geworden.



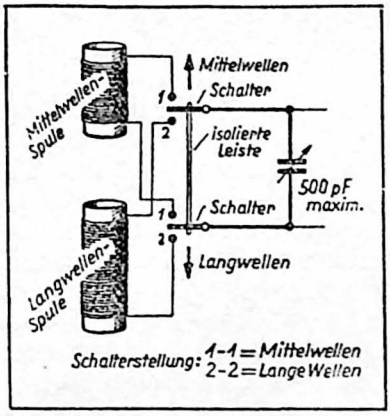
Um im Schaltbild anzudeuten, daß der Kopplungsgrad zweier Spulen verändert werden kann, zieht man einen Pfeilstrich durch beide Spulen, wie überhaupt der Pfeilstrich in Schaltzeichen auf Veränderlichkeit des Bauteiles hinweist (z. B. beim Drehkondensator).



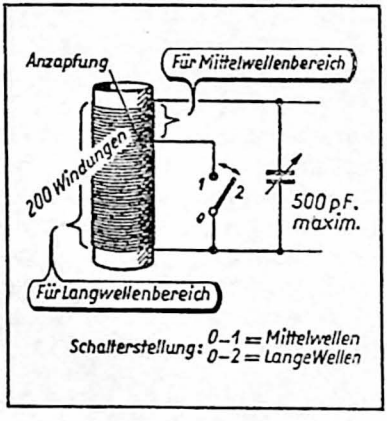
Nichts wurde bisher darüber gesagt, für welchen Wellenbereich die beschriebenen Einröhren-Geräte bestimmt sind. Nun, der zu empfangende Wellenbereich richtet sich nach der Windungszahl der Spule im Schwingkreis und nach der Größe (Kapazität) des verwendeten Drehkondensators. Im allgemeinen haben „normale" Drehkondensatoren maximale Kapazitätswerte von etwa 500 Picofarad (bei ganz hereingedrehtem, beweglichem Plattenpaket*). Der kleinste Kapazitätswert liegt im allgemeinen zwischen 40 und 50 Picofarad (bei ganz herausgedrehtem Rotor). Die Spulen jener Art, wie wir sie bisher kennengelernt haben, müssen bei einem Zylinderdurchmesser von 40 mm mit etwa 70 Windungen isolierten Kupferdrahtes (von etwa 0,3 mm Durchmesser) bewickelt sein, wenn die Sender des Mittelwellenbereiches empfangen werden sollen.



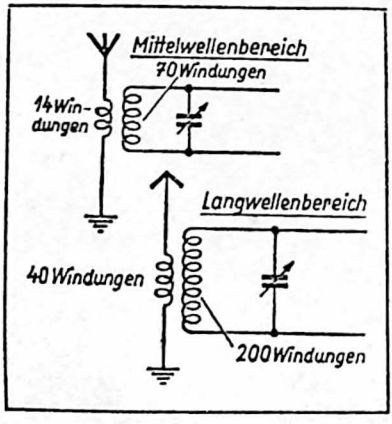
Will man „Langwellen" aufnehmen, so muß die Spule weit mehr Windungen tragen, etwa 200.



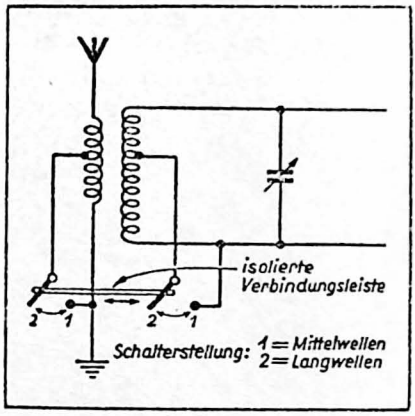
Soll mit einem Rundfunkgerät der Mittelwellen- und Langwellenbereich bestrichen werden können, so sieht man einen Wellenschalter vor, der es einfach macht, die Umschaltung von einem auf den anderen Wellenbereich vorzunehmen. In der Stellung „Mittelwellen" wird die Spule mit der geringeren Windungszahl mit dem Drehkondensator zum Schwingungskreis vereint, in der Stellung „Langwellen" wird die große Spule eingeschaltet.



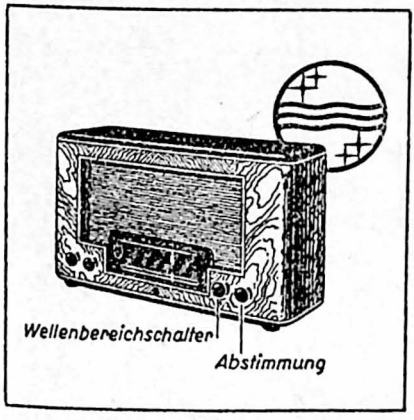
Man kann das gleiche Resultat einfacher erreichen, wenn man nur eine Spule von etwa 200 Windungen verwendet, die für den Langwellenbereich bestimmt ist. Sollen Mittelwellen aufgenommen werden, dann schaltet man einfach das Zuviel an Windungen (also etwa 130 Windungen) aus, indem man sie überbrückt, d. h. kurzschließt.



Vorher hieß es, daß man zur Antennenankopplung eine besondere Spule verwendet. Sie soll im allgemeinen eine fünfmal kleinere Windungszahl als die Schwingkreisspule haben. Also muß auch sie umschaltbar gestaltet werden.



Man geht ähnlich vor und benutzt zwei Schalter, mit denen ein Teil der Langwellenspule dadurch ausgeschaltet wird, daß man sie kurzschließt. Beide Schalter werden gemeinsam betätigt. – Ähnlich verfährt man bei der Größenänderung der Rückkopplungsspule.

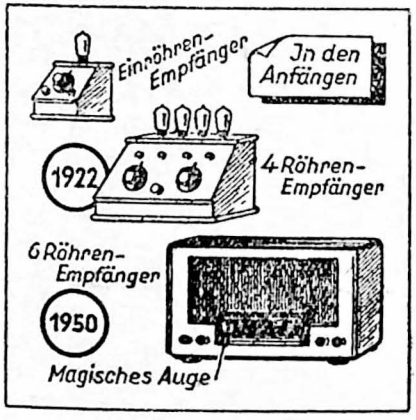


Immer aber ist nur ein Schaltgriff erforderlich, selbst wenn drei oder mehr Kontakte ein- oder ausgeschaltet werden sollen: Wellenbereichschalter.

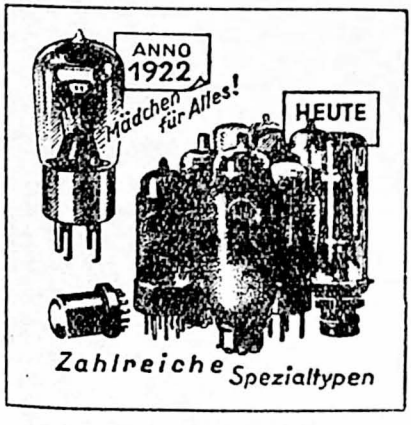
PHILIPS

G) MEHR RÖHREN – BESSERER EMPFANG

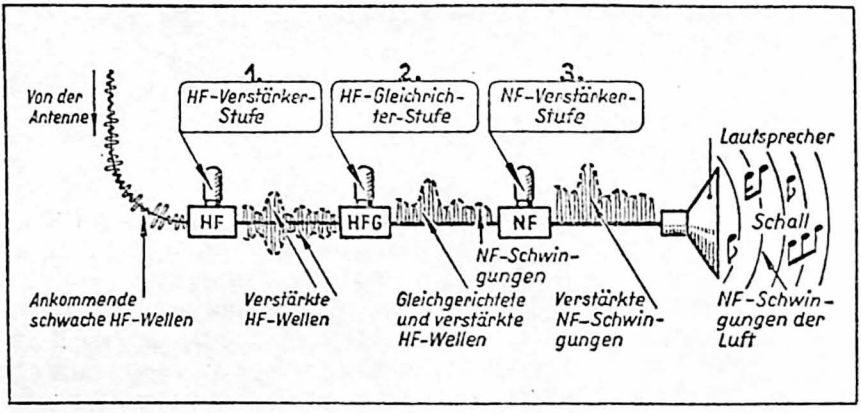
Weder der röhrenlose Detektor-Empfänger noch das Einröhrengerät konnten auf die Dauer die Ansprüche der Rundfunkhörer befriedigen. Einerseits war die Reichweite gering, andererseits war das Hören mit einem Kopfhörer alles andere als bequem.



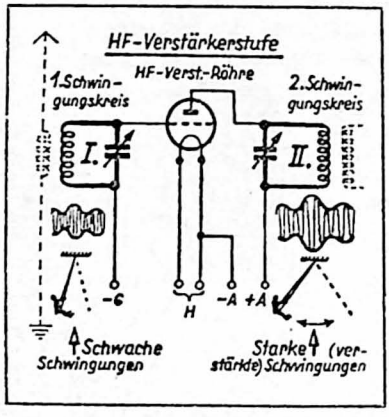
Die Elektronenröhre aber bot größere Möglichkeiten. Allmählich wurde sie für die verschiedensten Hilfsaktionen im Empfänger eingesetzt. Bei den ersten „größeren" Geräten paradierten die Röhren in Reih' und Glied frei auf den Geräten; heute lugt höchstens noch der Kopf des „Magischen Auges" schüchtern hervor.



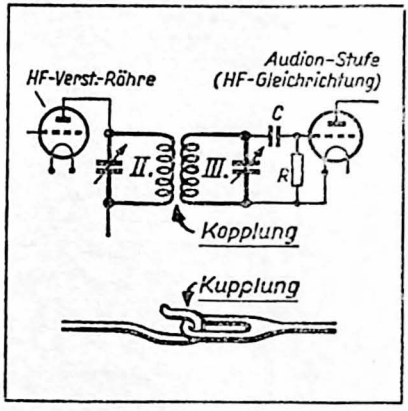
Hauptaufgabe der Röhre ist es — neben der Gleichrichtung — zu „verstärken". Die Röhre vermag sowohl die ankommenden schwachen Sendewellen (Hochfrequenzverstärkung) als auch zu schwache Tonfrequenzen zu verstärken (Niederfrequenzverstärkung). — Früher war ein und derselbe Röhrentyp „Mädchen für alles", das die verschiedensten Wellenzüge verstärken und gleichrichten mußte. Heute gibt es verschiedenartigste Spezialtypen für die Erledigung ein und derselben Aufgabe!



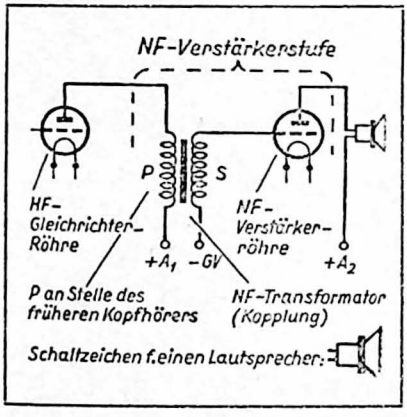
Erweitern wir das ursprüngliche Einröhren-Gerät um zwei weitere Röhren, so haben wir damit einen wesentlichen Schritt auf dem Wege zur Vervollkommnung getan. Eine erste Röhre soll die schwachen ankommenden Sendewellen vergrößern, damit die zweite Röhre die „Lieferung" besser verarbeiten kann. Eine dritte Röhre schließlich soll für eine lautsprecherreife Wiedergabe sorgen. Der Empfänger besteht dann aus drei „Stufen" mit je einer Röhre, der HF-Verstärker-Stufe, der (HF)-Gleichrichter-Stufe und der NF-Stufe.



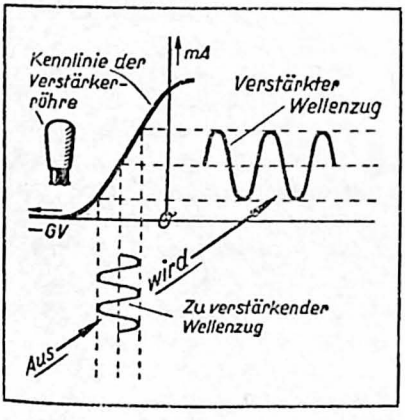
Befassen wir uns zunächst mit der HF-Stufe. Dem Gitter der Hochfrequenz-Verstärker-Röhre wird die Antennenenergie über einen ersten Schwingungskreis zugeführt. In der Anodenzuleitung zu dieser Röhre liegt ein zweiter Schwingkreis, in dem die Senderwellen wesentlich kräftiger hin und her schaukeln.



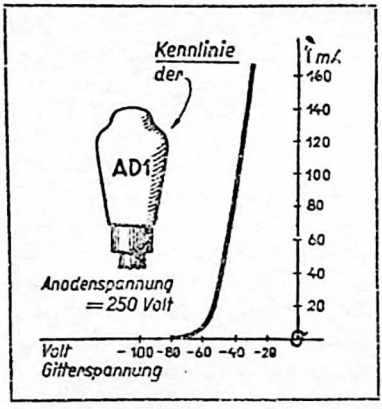
Vom zweiten Schwingkreis können die verstärkten Wellen (z. B. über die angekoppelte Spule eines dritten Schwingungskreises) der nächsten Röhre (der HF-Gleichrichterröhre) zugeführt werden, die jetzt ein kräftigeres Wellenmaterial verarbeiten kann als ohne die Vorstufe.



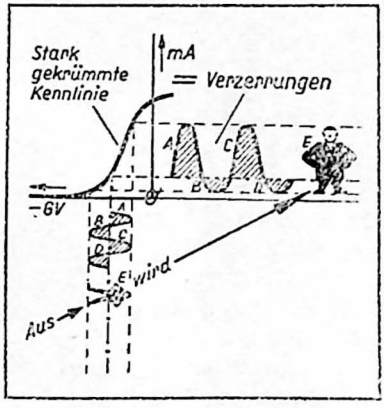
Die NF-Verstärker-Stufe kann z. B. durch einen Transformator „angekoppelt" werden, dessen Primärwicklung an Stelle des Kopfhörers angeschlossen wird. — Die niederfrequenten Schwingungen werden so auf das Gitter der NF-Verstärkerröhre übertragen. Das verstärkte (vergrößerte) Spiegelbild der tonfrequenten Schwingungen kehrt im Anodenstromkreis der dritten Röhre wieder: der Lautsprecher erhält Strom- und Spannungsschwankungen zugeführt, die seine Membrane zu kräftigen Bewegungen veranlassen, so daß Schall lautstark abgegeben werden kann.



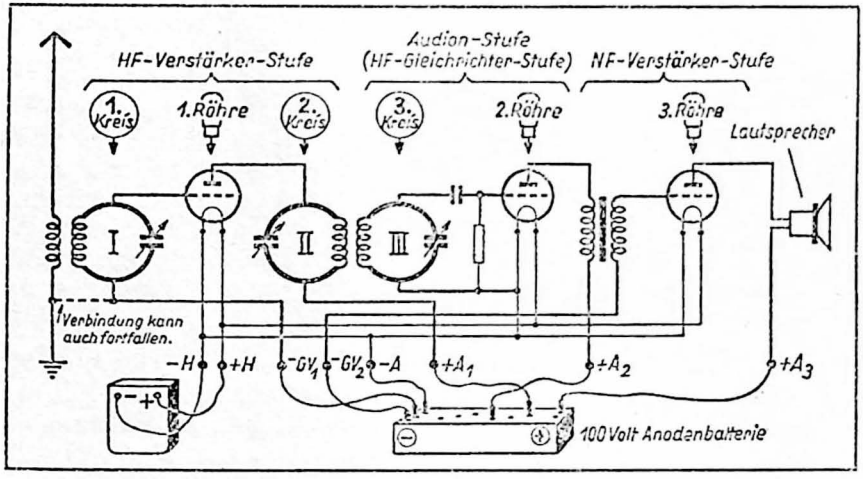
Je steiler die Kennlinie einer NF-Verstärker-Röhre ist, um so besser verstärkt sie. Im Bilde ist ihre Arbeitsweise theoretisch erklärt: die schwachen, dem Gitter der Röhre zugeführten tonfrequenten (niederfrequenten) Spannungen schwingen verstärkt im Anodenstromkreis.



Die Kennlinie einer gebräuchlichen NF Verstärker-Röhre, die in „Endstufen" Verwendung findet, ist in der Zeichnung angegeben. Hier beträgt die Anodenspannung 250 Volt. Die Kennlinie ist bei Gitterspannungen zwischen −80 und −20 Volt aufgenommen worden.



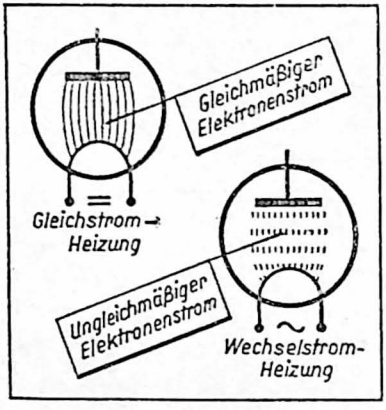
Eine besondere Bedingung für zufriedenstellendes Arbeiten der Röhre ist die Geradlinigkeit ihrer Kennlinie. (Man sorgt sowieso durch geeignete Wahl des Gitterspannungswertes dafür, daß nur der geradlinige Teil der Kennlinie beansprucht wird, denn Krümmungen zeigt jede Kennlinie, insbesondere zu Beginn und am Ende.) Wird der gekrümmte Teil der Kennlinie zur Verstärkung herangezogen, dann wird das verstärkte Spiegelbild der Kurve u. U. stark verzerrt; entsprechend klingt auch die Wiedergabe verzerrt.



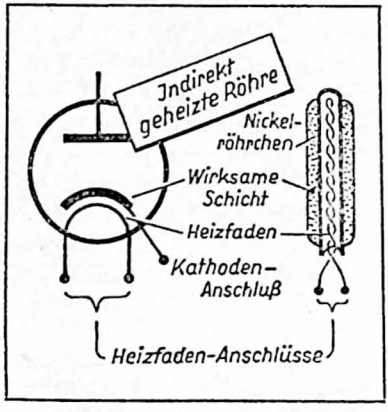
Das Gesamtschaltbild des in drei Stufen aufgebauten Dreikreis-Dreiröhren-Empfängers ist uns jetzt verständlich. (Bei der hier gezeigten Schaltung sind alle „Schikanen" weggelassen. Wir werden später noch Gelegenheit nehmen, auf Einzelheiten einzugehen.)

Der Besitzer eines solchen Empfängers möchte, wenn seine Wohnung an das elektrische Stromnetz angeschlossen ist, natürlich nicht mit Batterien arbeiten. Sehen wir also was zu tun ist, um den Empfänger am Starkstrom-Netz betreiben zu können. Auf zwei Faktoren kommt es wesentlich an, auf die Röhrenheizung und auf die Anodenspannung: für Heizbatterie und Anodenbatterie ist geeigneter Ersatz zu schaffen.

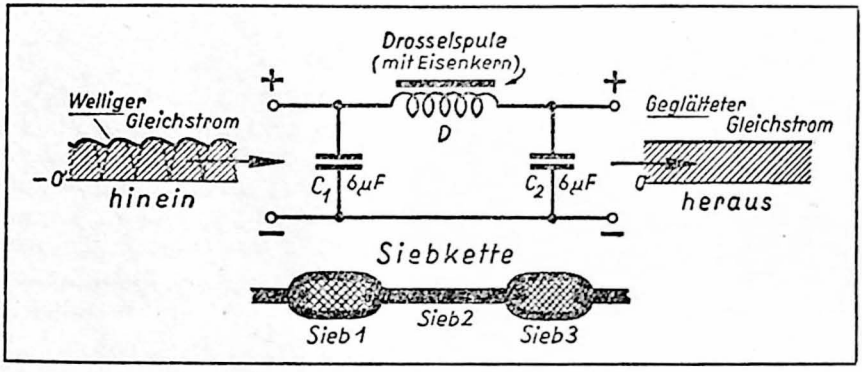
Nehmen wir an, wir hätten 220 Volt Wechselstrom zur Verfügung. Mit Hilfe eines Transformators (Netztransformator) könnten wir die für die Röhrenheizung viel zu hohe Voltzahl leicht z. B. auf 4 Volt herabsetzen. Mit Wechselstrom geheizte Röhren aber führen im Endeffekt zu einem Brummen im Lautsprecher, das sich durch Schaltkniffe nie ganz ausmerzen läßt.



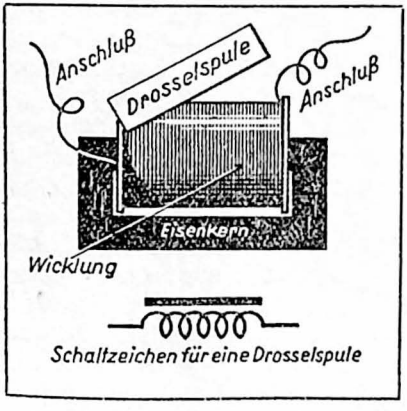
Das Brummen ist auf die niedrige Frequenz des Netzwechselstromes zurückzuführen, die mit 50 Hertz noch gut hörbar werden kann. Bei Gleichstromheizung der Röhren wird der Heizfaden gleichmäßig erhitzt: gleichmäßig werden Elektronen von der Kathode ausgesandt und fließen zur Anode. Bei Wechselstromheizung wechselt die Glühtemperatur des Heizfadens dauernd: die Elektronen werden fast stoßweise ausgesandt. Das wirkt sich natürlich auf den ganzen „Organismus" des Gerätes aus.



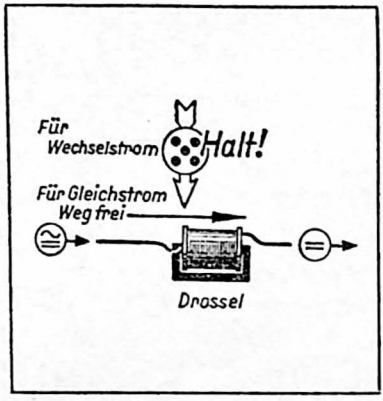
Die Techniker haben, wie im Abschnitt über Gleichrichter bereits angedeutet wurde, einen Ausweg gefunden. Sie haben den Heizfaden (isoliert) mit einem Nickelröhrchen umgeben, auf dem die Elektronen aussendende Schicht aufgetragen ist. Der Heizfaden dient nur noch zur Heizung der „wirksamen Schicht", nicht mehr zur Elektronenaussendung. Derartige Röhren nennt man „indirekt" geheizte Röhren im Gegensatz zu den „direkt" geheizten ohne besondere Kathode.



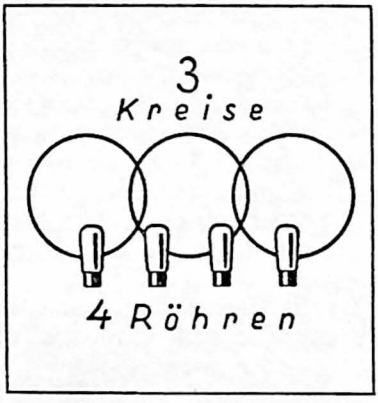
Wie die Anodengleichspannung aus dem Wechselstromnetz entnommen wird, haben wir im Abschnitt „Gleichrichter" gesehen. Wohl wurde dort angegeben, daß die noch schwankende Gleichspannung durch einen Kondensator beruhigt werden kann. Ein Kondensator allein genügt jedoch in den meisten Fällen nicht. Man schaltet deshalb an die beiden vom Gleichrichter kommenden Leitungsenden (Plus und Minus) eine „Siebkette" an, bestehend aus zwei Kondensatoren C 1 und C 2 und einer „Drossel" D. Die Siebkette soll alle „Unreinheiten", mit welchen der Gleichstrom noch behaftet ist (Ungleichmäßigkeiten) aussieben. – Die Aufgabe des Kondensators C 1 ist uns aus den früheren Darlegungen bekannt. Die Drossel soll dafür sorgen, daß keine Wechselschwingungen weitergelangen. Letzte Reste an störenden Schwingungen nimmt der Kondensator C 2 weg, so daß an den äußersten rechten Klemmen (+ und –) reiner, vollständig „geglätteter" Gleichstrom abgenommen werden kann.



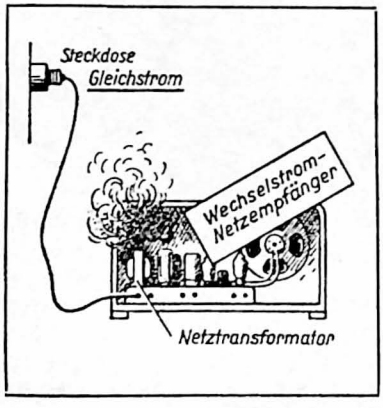
Die Drossel besteht aus vielen Windungen isolierten Drahtes, also aus einer Spule, die in diesem Fall mit einem Eisenkern versehen ist. Im Schaltzeichen wird der Eisenkern durch einen waagerechten Strich angedeutet.



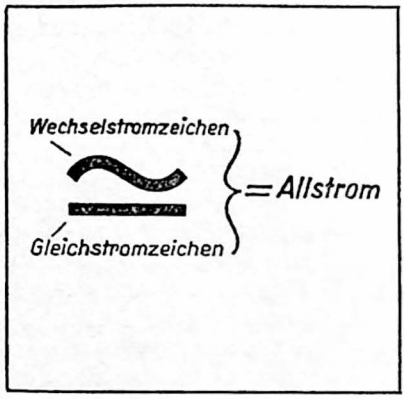
Wie der Name sagt, „drosselt" die Spule, und zwar drosselt sie Wechselströme ab, während sie Gleichstrom hindurchläßt. Ihre Drosselwirkung richtet sich nach der Zahl ihrer Windungen und nach der jeweils auftretenden Frequenz.



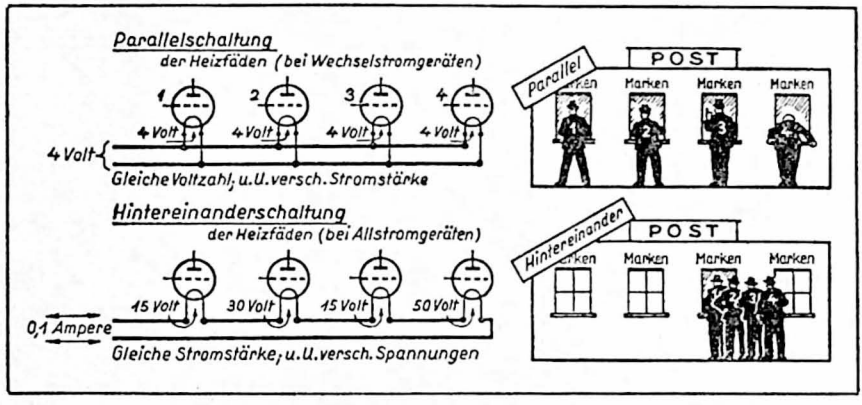
Mit diesen Grundlagen gewappnet, können wir uns jetzt schon theoretisch – und vielleicht auch praktisch – einen Dreiröhren-Netz-Empfänger zusammenbauen. Er würde einschließlich der Gleichrichterröhre (im Netzteil) zum 4-Röhren-3-Kreis-Empfänger werden. Allerdings muß jetzt schon gesagt werden, daß man mit dem gleichen Aufwand an Röhren viel leistungsfähigere Geräte entwikkeln kann.



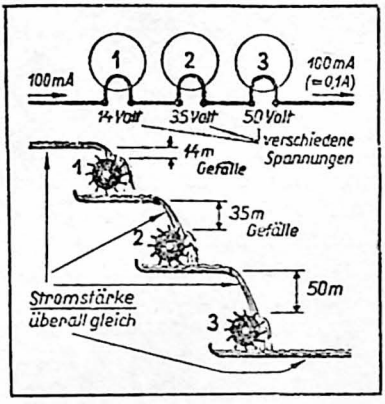
Doch bevor wir einen weiteren Schritt in die „bessere" Empfangstechnik tun, muß auf den Begriff des Allstrom-Empfängers eingegangen werden. Das soeben angedeutete Gerät kann nur am Wechselstromnetz betrieben werden. Wenn man es an das Gleichstromnetz anschließen würde, dann würden entweder die jedem Netzempfänger vorgeschalteten Sicherungen durchbrennen oder aber der Netztransformator würde heiß und heißer werden, zu rauchen anfangen und schließlich sein Leben aushauchen.



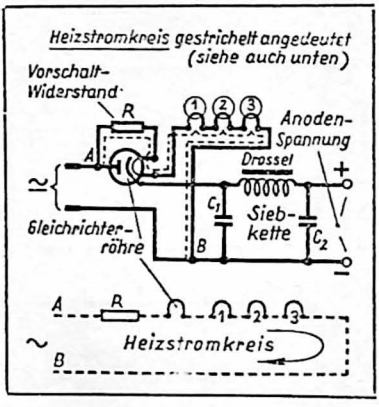
Der Allstromempfänger läßt sich, wie sein Name sagt, an „allen" Stromarten, d. h. sowohl am Gleichstrom- als auch am Wechselstromnetz betreiben. Auf den entsprechenden Industriegeräten ist das durch ein besonderes Zeichen, durch einen geraden Strich mit darüber liegender Wellenlinie angegeben.



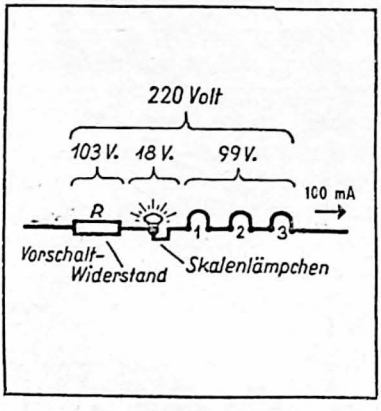
Der Allstromempfänger hat eine andersgeartete Strom- und Spannungsversorgung als das Wechselstromgerät. Da ist zunächst die Versorgung der Röhren mit Heizstrom. Während die Heizfäden der Röhren im Wechselstromempfänger „parallel" geschaltet sind, liegen sie beim Allstromempfänger „hintereinander". – Bei den parallelgeschalteten Röhren der Wechselstromempfänger liegen die Heizfäden aller Röhren an der gleichen Spannung, an 4 Volt. Bei den hintereinandergeschalteten Röhren der Allstromempfänger kommt es weniger auf die Spannung der einzelnen Heizfäden an, als auf die Stromstärke, von der sie durchflossen werden. Die Stromstärke muß für alle Heizfäden die gleiche sein, z. B. 100 Milliampere. Dabei kann die eine Röhre ruhig für eine Spannung von 35 Volt, die andere für eine solche von 50 Volt bestimmt sein.



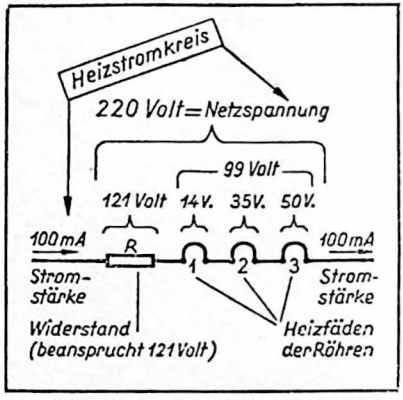
Die „elektrische" Hintereinanderschaltung ist mit der „mechanischen" Hintereinanderschaltung von Wasserrädern zu vergleichen, von denen z. B. das erste mit einem kleineren Gefälle (Spannung) arbeitet als das nächste Rad. Ein drittes Wasserrad wird vielleicht durch ein noch größeres Gefälle in Drehung versetzt. In allen Fällen aber ist die Wasserstromstärke die gleiche (wie die elektrische Stromstärke bei den hintereinandergeschalteten Röhren).



Angenommen, die drei Röhren benötigen 14, 35 und 50 Volt Spannung, so sind das zusammen 99 Volt. Das Netz liefert aber 220 Volt Spannung; deshalb kann man die Röhren nicht an die volle Netzspannung legen, sie würden durchbrennen. Vielmehr muß ein Vorwiderstand in die Heizleitung gelegt werden, der 121 Volt vernichtet.



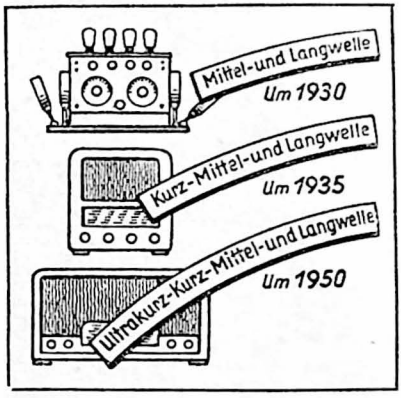
Oft werden Glühlämpchen zur Skalenbeleuchtung benutzt, man kann sie mit in den Heizkreis schalten, vorausgesetzt, daß sie eine Stromstärke von je 100 mA verbrauchen (wie die Heizfäden der Röhren). – Der Vorwiderstand wird dann entsprechend der geringeren zu vernichtenden Spannung kleiner bemessen.



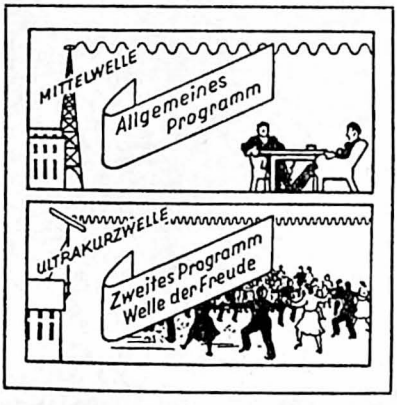
Der Netzteil eines Allstromempfängers mit angeschlossenem Heizstromkreis sieht in vereinfachter Darstellung so aus wie im Bilde skizziert. Eine Gleichrichterröhre (die durch einen Trockengleichrichter ersetzt werden kann) sorgt dafür, daß bei Anschluß des Gerätes an das Wechselstromnetz Gleichstrom entsteht. Sie tut allerdings bei Netzgleichstrom keine Dienste, läßt aber den Netzstrom (in einer Richtung) durch. – Später werden wir Eingehenderes über die verschiedenen Röhrentypen, über ihren Aufbau und über ihre Eignung für verschiedene Zwecke hören.

PHILIPS

H) ULTRAKURZWELLEN-FUNK

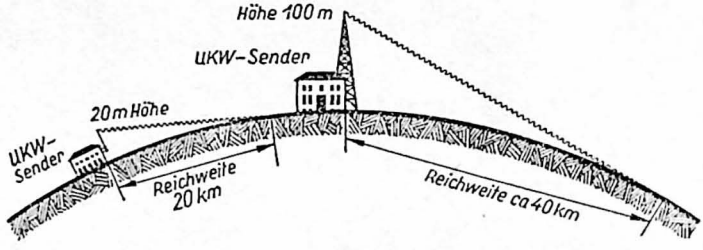


Mit den ersten Empfangsgeräten konnten nur Mittel- und Langwellen aufgenommen werden. Schon nach wenigen Jahren der Weiterentwicklung wurden die größeren Geräte mit einem Kurzwellenteil versehen. Der technische Fortschritt ist schnell: die ultrakurzen Wellen verlangen heute gebieterisch ihr Recht.

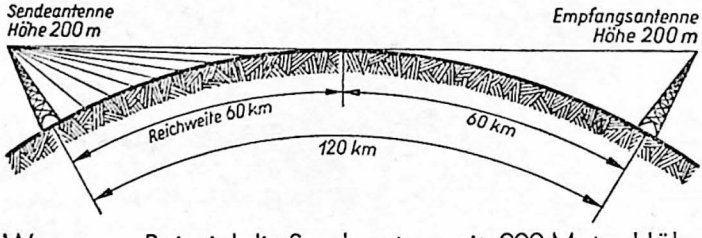


Viele Gründe sind bestimmend für das Interesse, das man ihnen entgegenbringt: neben besserer und störungsfreierer Wiedergabe bietet ihre Aufnahme in den engeren Kreis des Rundfunks die Möglichkeit, zusätzliche Programme auszustrahlen und die Wellennot zu lindern.

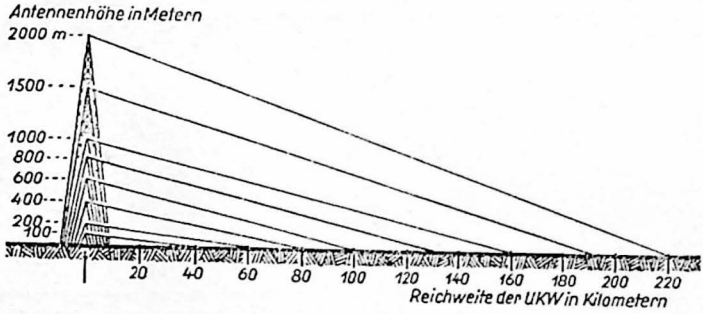
Die ultrakurzen Wellen haben eine geringere Reichweite als ihre längeren Schwestern. Sie entspricht im allgemeinen der Sichtweite.



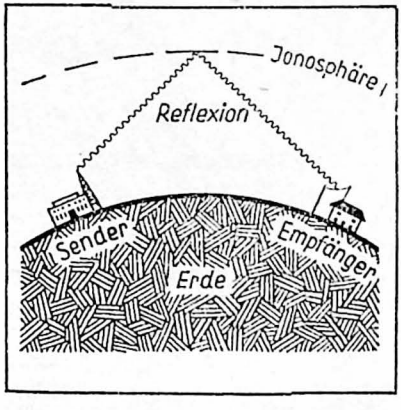
Diese wiederum ist um so größer, je höher die Sende- und Empfangsantennen errichtet werden.



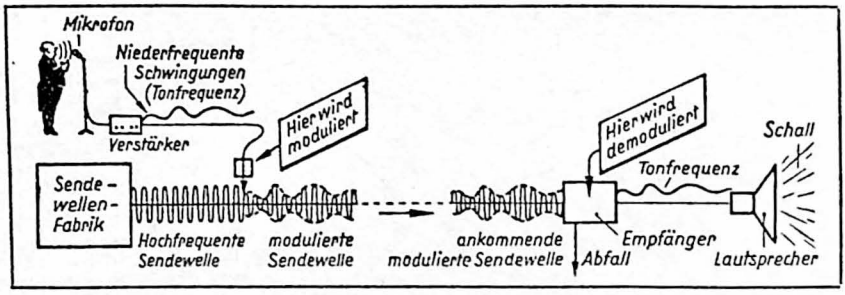
Wenn zum Beispiel die Sendeantenne in 200 Meter Höhe angebracht ist, so bestrahlen die ausgesandten Wellen eine Kreisfläche von rund 60 km Radius. Sie können aber auch in 120 km Entfernung aufgenommen werden, wenn sich hier eine Empfangsantenne in gleicher Höhe befindet.



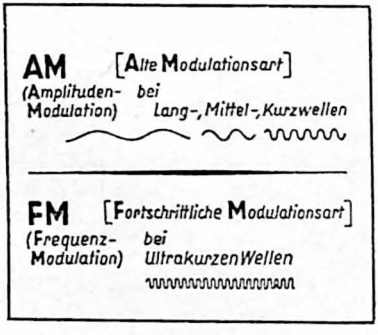
Die Bilddarstellung gibt ungefähre Reichweiten bei entsprechenden Sendeantennenhöhen an.



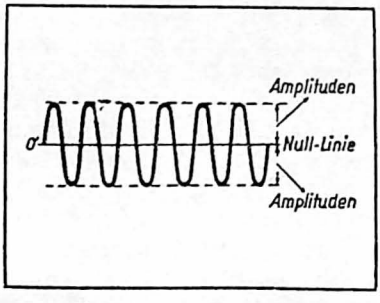
Zwar geht die Ausbreitung anderer Wellenarten ebenfalls geradlinig vor sich, doch werden die Kurz-, Mittel- und Langwellen an bestimmten Schichten der höheren Atmosphäre, der Ionosphäre, reflektiert und können somit unter günstigen Umständen, rings um den Erdball verlaufend, zum Ausgangspunkt zurückgelangen.



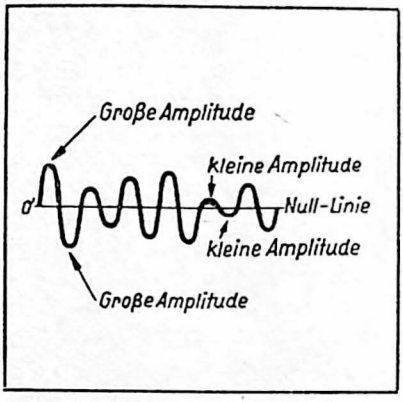
Ein wesentlicher Unterschied bei der Ausstrahlung und dem Empfang der langen, mittellangen und kurzen Wellen einerseits und der ultrakurzen Wellen andererseits besteht in der Modulation (bei der Sendung) und der Demodulation (beim Empfang) der Sendewellen. – Unter „Modulieren" versteht der Techniker das Aufgeben der niederfrequenten Schallschwingungen auf die hochfrequente Sendewelle (Trägerwelle). Unter „Demodulieren" versteht er das Wieder-„Abnehmen" der Tonschwingungen von den aufgenommenen Sendewellen beim Empfang.



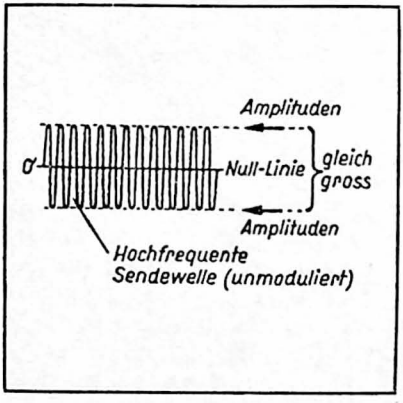
Die meist angewandte Modulationsart ist die „Amplituden-Modulation" (kurz AM). Beim Ultrakurzwellenfunk wird von einer anderen Modulationsart Gebrauch gemacht, von der „Frequenz-Modulation" (kurz FM). Um die beiden Systeme voneinander unterscheiden zu können, bedarf es einiger erläuternder Bemerkungen.



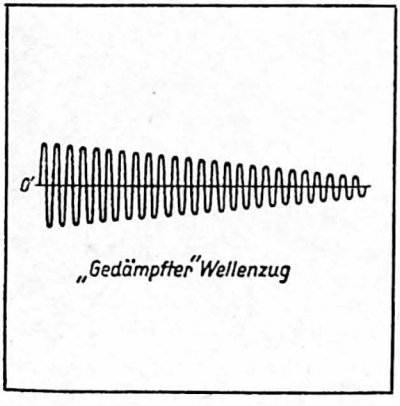
Zunächst: was versteht man unter einer „Amplitude"? Stellen wir uns einen gleichmäßigen Wellenzug mit Wellenbergen und Wellentälern vor. Die höchsten Höhen und tiefsten Tiefen des Wellenzuges sind die Amplituden der einzelnen Wellen. Man spricht auch von „Schwingungsweiten".



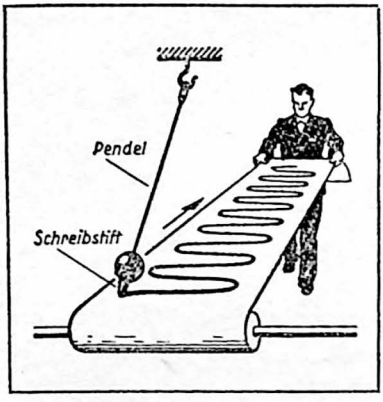
Bei unregelmäßigen Wellenzügen gibt es große und kleine Amplituden.



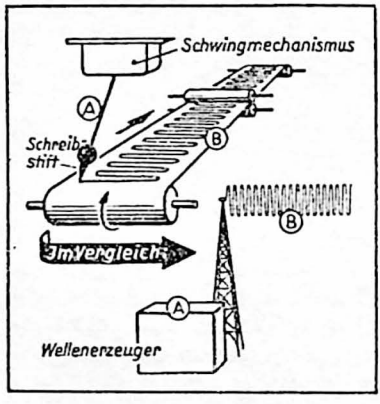
Die Rundfunksender strahlen wechselschnelle Wellen mit gleichbleibenden Amplituden aus (hochfrequenter Wellenzug).



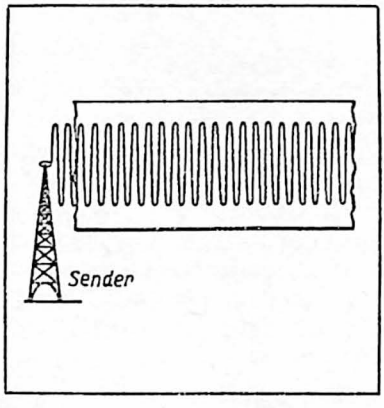
Aus Gründen physikalischer Korrektheit muß hinzugefügt werden, daß die Sendewellen auf langer Ätherreise allmählich schwächer und schwächer werden, daß die Größe der Amplituden langsam abnimmt. Der Techniker sagt: die Wellen werden „gedämpft". Praktisch spielt diese Tatsache für die nachfolgenden Erläuterungen jedoch keine Rolle.



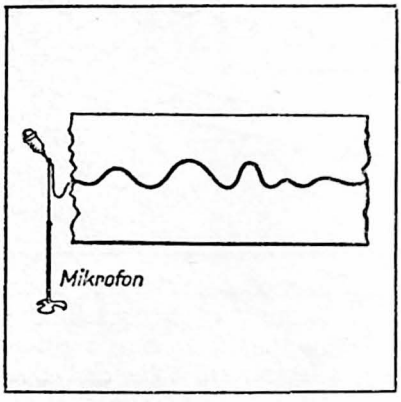
Ein mechanischer Vergleich soll helfen, den Modulationsvorgang verständlich zu machen. Wenn man am unteren Ende eines Pendels einen Schreibstift anbringt, der eine gleichmäßig weiterbewegte Papierbahn berührt, dann zeichnet der Stift die Pendelschwingungen in Form eines Wellenzuges auf. (Die elektrische Welle pendelt wie das mechanische Pendel hin und her.)



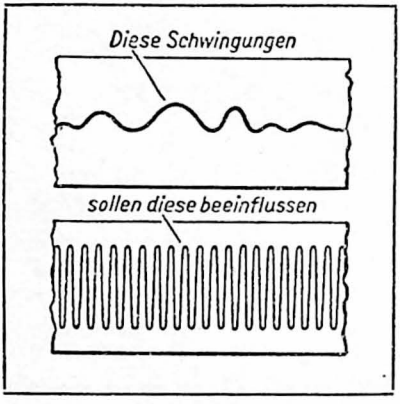
Eine besondere Einrichtung am oberen Pendelteil sorgt dafür, daß das Pendel ständig gleichmäßig hin und her schwingt (ähnlich wie z. B. bei den Pendeluhren). Das Papierband wird automatisch weitergezogen.



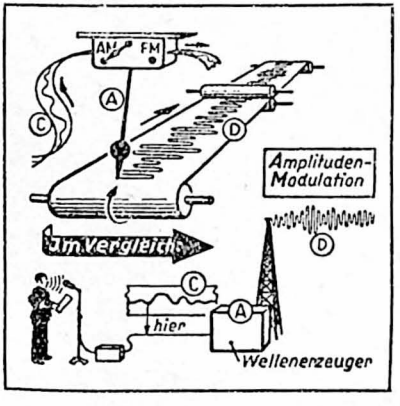
Ein Streifen des beschrifteten Bandes sieht dann so aus, wie es das Bild zeigt. Der aufgezeichnete Wellenzug entspricht im Vergleich den vom Sender ausgestrahlten hochfrequenten Schwingungen.



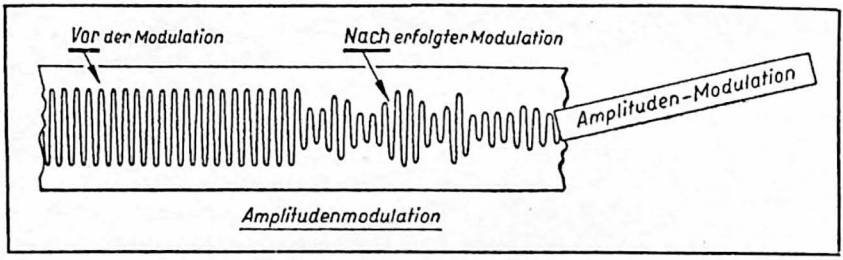
Läßt man sich die vom Mikrofon herrührenden, in elektrische Schwingungen umgewandelte Schallwellen auf einen Papierstreifen aufzeichnen, dann ergibt sich z. B. ein Kurvenzug langsamer niederfrequenter Schwingungen wie in der Zeichnung.



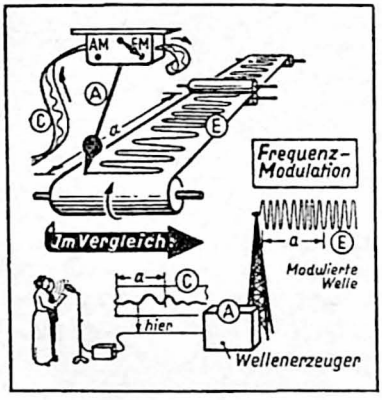
Aufgabe des Sendertechnikers ist es, die in elektrische Schwingungen umgewandelten Schallwellen den vom Sender ausgestrahlten „Trägerwellen" mitzugeben, d. h. die gleichmäßig schwingende Sendewelle so zu beeinflussen, daß ihr die Eigenarten der zu übertragenden Schallschwingungen mitgegeben werden.



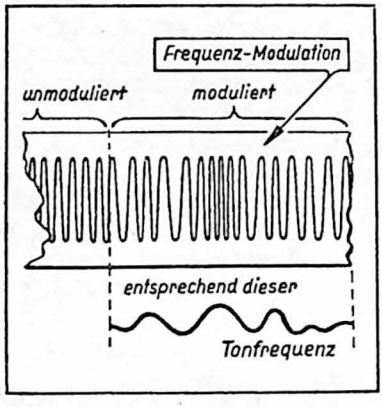
Im oben gewählten mechanischen Vergleich könnte man z. B. ein mit den Schallschwingungen beschriftetes Band durch den Antriebsmechanismus des Pendels leiten, das die Pendelbewegungen entsprechend beeinflußt. (Wie z. B. ein vorbereitetes abrollendes Papierband die Melodie einer Drehorgel bestimmt.) Der Schreibstift am unteren Pendelende zeichnet dann „modulierte" Schwingungen auf: der ursprünglich gleichmäßige Wellenzug ist durch den Einfluß der Schallschwingungen verformt worden.



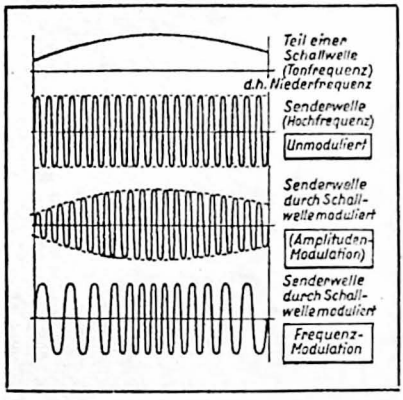
Wenn der steuernde Mechanismus auf „Amplituden"-Modulation eingestellt ist, dann arbeitet er so, daß die Amplituden der hochfrequenten Schwingungen unter dem Einfluß der niederfrequenten Tonschwingungen Änderungen erfahren. Wie das Bild zeigt, sind die Amplituden jetzt nicht mehr gleichmäßig groß; sie haben sich der Form der Schallschwingungen anpassen müssen.



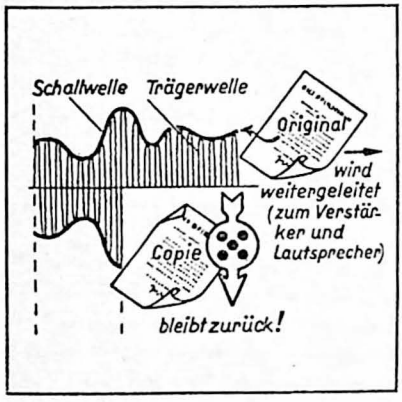
Wird der Pendelmechanismus (im Vergleich) auf „Frequenz-Modulation" (FM) eingestellt, dann bleiben die Amplituden der Schwingungen unbeeinflußt, sie sind nach wie vor gleichgroß, aber ihre Frequenz ändert sich unter dem Diktat der Schallschwingungen.



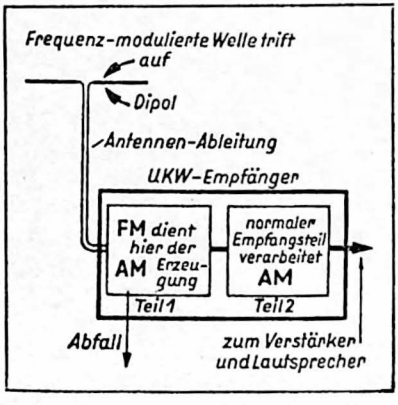
Für die frequenzmodulierte Trägerwelle (Sendewelle) ergeben sich die in der rechten Bildhälfte dargestellten Änderungen: die vorher gleichmäßigen Wellenabstände variieren.



Die Unterschiede zwischen den beiden Modulationsarten gehen aus den Gegenüberstellungen im Bild hervor; nur ein kleiner Teil einer beliebigen Schallschwingung ist hier zugrundegelegt. Bei der AM-Modulation ändern sich die Amplituden, bei der FM-Modulation die Frequenz der Trägerwelle in dem von den verstärkten Mikrofonströmen diktierten Rhythmus.

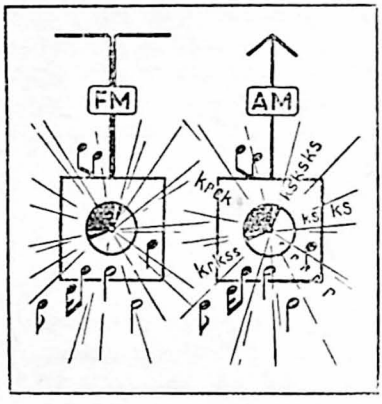


Wie die Demodulation und Gleichrichtung beim Empfang amplitudenmodulierter Trägerwellen vor sich geht, wurde in einem früheren Abschnitt bereits kurz erläutert.



Der Empfang frequenzmodulierter Wellen ist mit den üblichen Schaltungen nicht möglich. Man sorgt deshalb im Empfänger für eine Umwandlung der aufgenommenen frequenzmodulierten Wellen in amplitudenmodulierte HF-Schwingungen. Dann kann die weitere Empfängerarbeit wieder „normal" verlaufen Streng genommen bleibt die Frequenzmodulation der ankommenden Welle natürlich bestehen, sie dient nur zur „Fabrikation" einer neuen jetzt entsprechend amplitudenmodulierten Welle. Die nebenher bestehen bleibende frequenzmodulierte Welle wird von dem Demodulator überhaupt nicht „zur Kenntnis genommen".

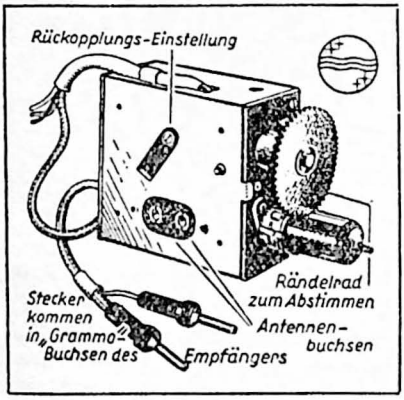
Entsprechende Wandlerschaltungen nennt man „Diskriminator"-Schaltungen. Auf Einzelheiten wird später eingegangen, wenn die Röhrentechnik ausführlicher behandelt werden konnte.



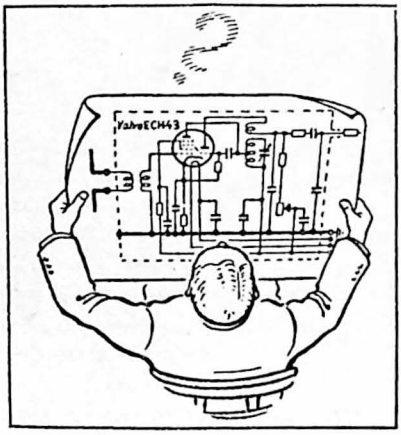
Zusammenfassend: Die FM-Modulation ist der AM-Modulation u. a. deshalb weit überlegen, weil sie viel weniger störungsanfällig ist, selbst bei Gewittern kann der UKW-Funk ohne die sonst so unangenehmen Krachgeräusche aufgenommen werden. Erst recht nicht treten die aus elektrischen Anlagen herrührenden Störgeräusche in Erscheinung, weil diese ebenso wie die atmosphärischen Störungen im wesentlichen amplitudenmoduliert sind. Auf amplitudenmodulierte Schwingungen aber soll ein guter FM-Empfänger nicht ansprechen.

Der Zeitpunkt ist nicht mehr fern, zu dem alle größeren Rundfunkempfänger mit einem organisch eingebauten UKW-Teil versehen sein werden. Bis dahin muß dem Rundfunkhörer, der sich von seinem alten Gerät nicht trennen will, auf andere Weise geholfen werden. Das kann z. B. durch ein Zusatzgerät geschehen, das neben dem Empfänger aufgestellt wird.

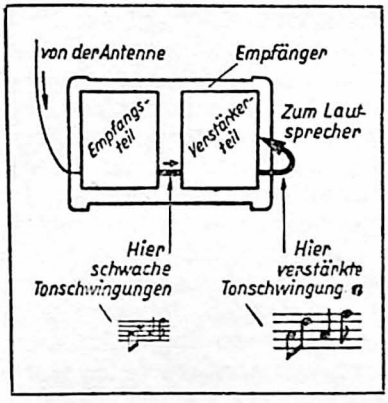
Diese Lösung ist keine befriedigende. Besser ist es sicherlich, das Zusatzgerät im Inneren des vorhandenen Radioapparates unterzubringen, vorausgesetzt, daß der Raum ausreicht. Bis auf die kleinsten der Empfänger ist das immer der Fall. – Der Konstrukteur des Einbaugerätes hat auf zwei Hauptfaktoren zu achten. Erstens: der Einbau muß für den Käufer bzw. für seinen Radiohändler so einfach wie möglich sein. Zweitens: das Zusatzgerät muß billig sein.



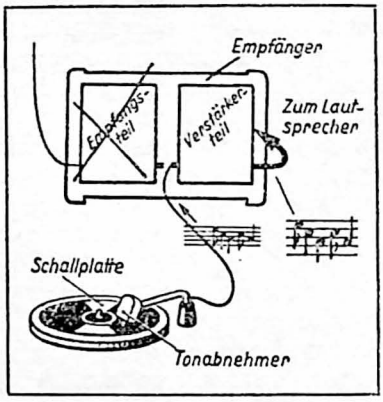
Beide Bedingungen erfüllen die Philips-UKW-Einbaugeräte vollauf. Das zuerst herausgekommene Modell ist mit einer einzigen Röhre bestückt und kann deshalb billig sein. Nach der Befestigung des Einbaugerätes an der Rückwand im Inneren des Empfängers ragt ein „Rändelrad" heraus, das zur Einstellung des örtlichen UKW-Senders dient. Die Herstellung der erforderlichen Verbindungen kann von jedem Bastler vorgenommen werden und erst recht von jedem Radiohändler.



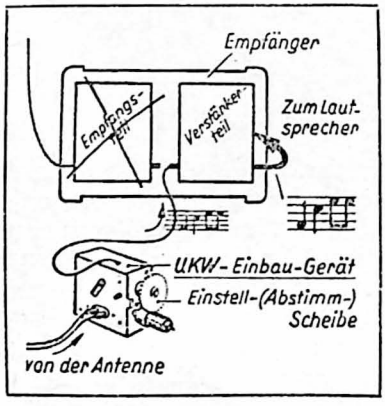
Wir sind mit unseren technischen Erläuterungen nicht so weit gediehen, daß hier volles Verständnis für die Arbeitsweise dieses kleinen Wunders vorausgesetzt werden kann. Deshalb müssen sich die folgenden Ausführungen auf das Wichtigste beschränken.



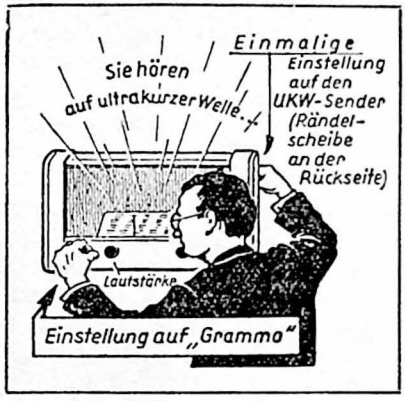
Jedes Empfangsgerät setzt sich — wie der Leser bereits weiß – aus dem eigentlichen Empfangsteil und dem Verstärkerteil zusammen. Der „Empfangsteil" liefert schwache Tonschwingungen, die im Verstärkerteil ordentlich gekräftigt, durch einen Lautsprecher in hörbaren Schall umgesetzt werden können.



Die Eigenschaften des Verstärkerteiles eines Empfängers werden z. B. bei der Schallplattenwiedergabe ausgenützt. Dabei wird der Empfangsteil außer Betrieb gesetzt.

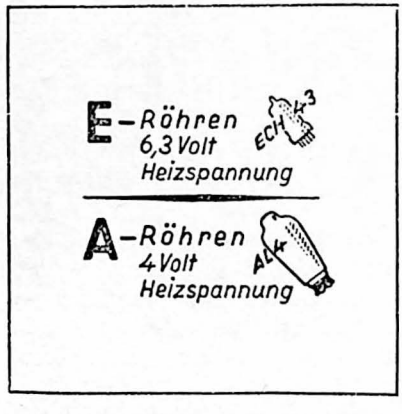


Sollen ultrakurze Wellen empfangen werden, dann wird der UKW-Zusatzapparat mit dem Tonabnehmer-Anschluß (auf der Rückseite des Radiogerätes) verbunden. Er tritt an Stelle des bisherigen Empfangsteils. Das was er aufnimmt und in Form schwacher Tonschwingungen abgibt, wird vom Verstärkerteil des Empfängers lautsprecherreif gemacht.

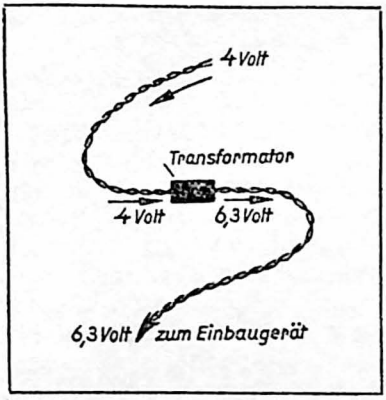


Der Rundfunkhörer muß also sein Gerät auf „Schallplattenwiedergabe" (Grammophonwiedergabe) schalten, wenn er den UKW-Funk mit dem Einbaugerät lautstark hören will. Mit dem Rändelrad, das aus der Rückwand des Empfängers herausragt, stellt er auf seinen UKW-Sender ein für allemal ein.

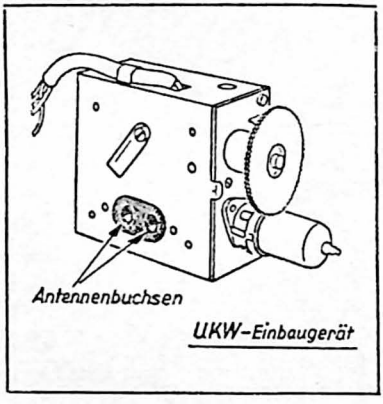
Das Einbaugerät muß natürlich Betriebsstrom erhalten; die Röhre will geheizt und mit Anodenspannung versehen werden. Die dazu erforderlichen Verbindungen können vom Bastler, Fachmann oder Radiohändler auf einfachste Weise hergestellt werden. Vier Anschlußleitungen sind zu diesem Zweck aus dem UKW-Einbaugerät herausgeführt.



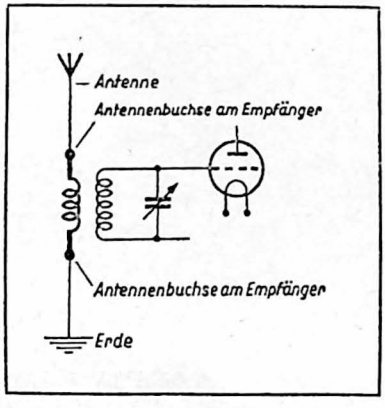
Die im Einbaugerät verwendete Röhre, die ECH 43, benötigt eine Heizspannung von 6 3 Volt. E-Röhren (erster Buchstabe der Röhrenbezeichnung) sind stets für eine Heizspannung von 6,3 Volt bestimmt. Im Gegensatz zu ihnen verlangen A-Röhren (z. B. die AL 4, eine Endröhre) 4 Volt Heizspannung.



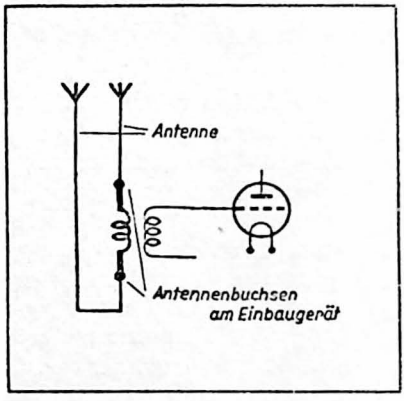
Ist der vorhandene Empfänger mit E-Röhren bestückt, wie das bei vielen Philipsgeräten der Fall ist, so brauchen die beiden Heizleitungen nur mit jenen im Hauptgerät verbunden zu werden. Befinden sich jedoch A-Röhren im Apparat, so bedarf es der Zwischenschaltung eines kleinen Transformators (eines Umspanners), der die 4-Volt-Heizspannung (für die A-Röhren) auf 6,3 Volt Heizspannung für die E-Röhre des Zusatzgerätes heraufsetzt.



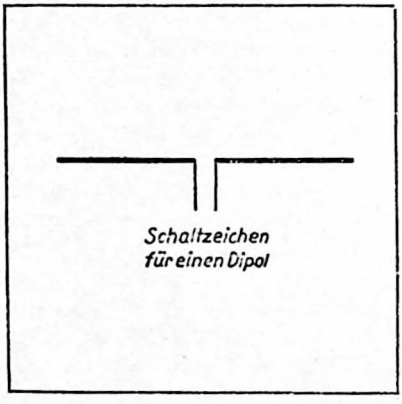
Das Einbaugerät ist mit zwei Antennenbuchsen versehen. Eine „Erdbuchse" fehlt, denn eine „Erde" wird nicht benötigt.



Aus Voraufgegangenem weiß der Leser, daß die Antennenspule eines normalen Emptängers einerseits mit der Antenne und andererseits mit der „Erde" verbunden wird.

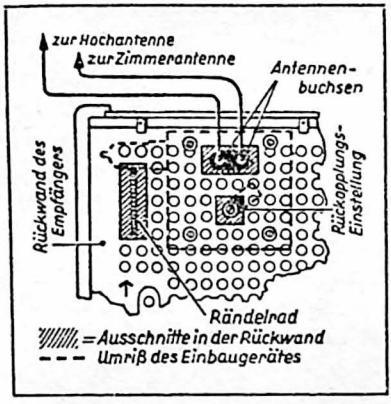


Beim UKW-Empfang sieht es meist anders aus: statt der „Erde" wird eine zweite Antennenleitung angeschlossen. Die UKW-Antenne ist also zweipolig. Daher wird sie „Dipol" (di-zwei) genannt.



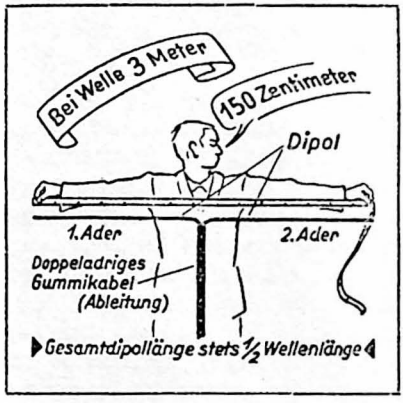
Wir lernen bei dieser Gelegenheit, daß das Schaltzeichen für einen Dipol (Dipolantenne) anders aussieht als das für eine gewöhnliche Antenne: Es besteht aus zwei waagerechten Strichen mit angedeuteten Ableitungen.

Der Aufbau eines Dipols (auf den im folgenden eingegangen wird), ist jedoch nur in größerer Entfernung vom UKW-Sender erforderlich. Oft genügt die vorhandene Antenne, einpolig in eine der beiden Antennenbuchsen gestöpselt, vollauf, um befriedigende Empfangsresultate zu erreichen.

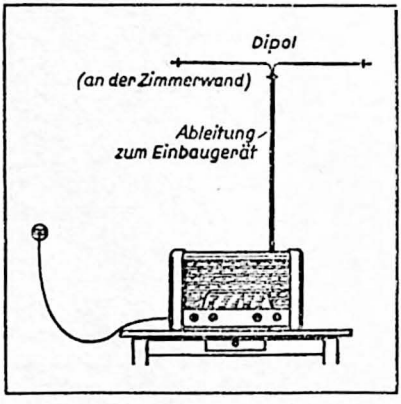


In anderen Fällen führt die Einstöpselung einer zweiten Antenne z.B. eine Behelfs-(Zimmer-)Antenne, in die freie Antennenbuchse des Zusatzgerätes zum Erfolg. Es ist jedoch unmöglich, eine allgemein gültige Norm aufzustellen: hier ist diese, dort jene Antennen-Anlage richtig, hier kommt man mit primitivsten Mitteln aus, dort muß mit allen Schikanen gearbeitet werden. Versuche müssen entscheiden. Und man versuche es immer erst auf die einfachste Weise. Es gelang z. B. schon mit kleiner Behelfsantenne am Philips-UKW-Einbaugerät und dem „Orion", einen 1-Kilowatt-UKW-Sender in 70 km Entfernung aufzunehmen, während andererseits in der näheren Umgebung eines stärkeren Senders nur die Dipol-Antenne Erfolg brachte.

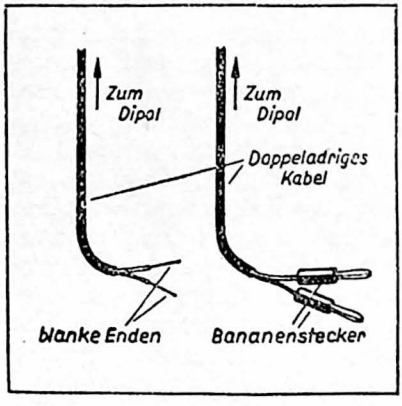
Dem Kunden muß die Angst vor dem Aufbau eines Dipols genommen werden, denn selbst eine UKW-Spezialantenne ist im Grunde genommen eine höchst einfache Angelegenheit. Hier ist das Rezept: man nimmt eine normale „elektrische" Anschlußschnur (Gummikabel) mit zwei „Adern", und reißt sie auf eine bestimmte Länge in zwei Hälften auseinander (die eine „Ader" in der rechten, die andere in der linken Hand).



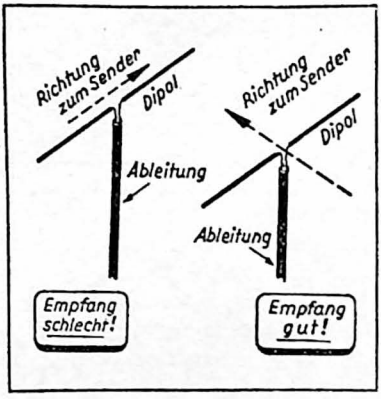
Die Länge der beiden freien „Adern", die später waagerecht ausgespannt werden, soll zusammen gleich der Hälfte der UK-Wellenlänge sein, die empfangen werden soll. Hat der UKW-Sender z. B. eine Wellenlänge von 3 Metern, dann werden, wie das Bild zeigt, insgesamt 150 cm abgemessen (jeder der beiden Dipoläste ist 75 cm lang).



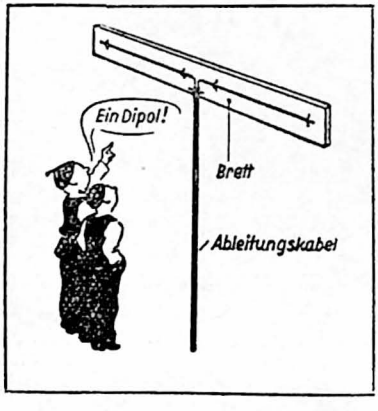
Die Dipolantenne muß nur noch irgendwo montiert und befestigt werden, z. B. an der Zimmerwand.



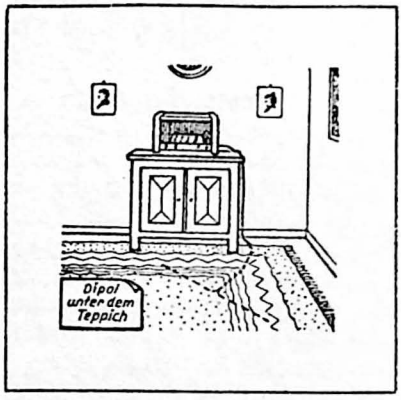
Die beiden metallischen Adern am anderen Kabelende werden auf 1 cm von der Isolierung befreit und mit Steckern versehen. Die Stecker werden in die Antennenbuchsen des Einbaugerätes gestöpselt.



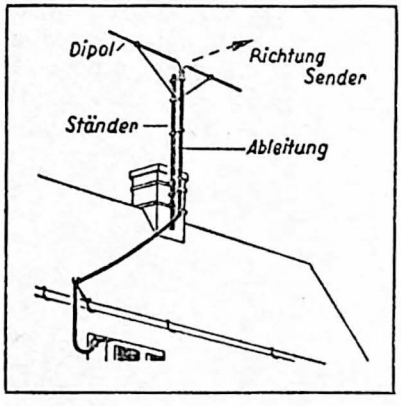
Eine Dipolantenne, wie sie das Bild zeigt, hat Richtwirkung, das heißt, daß sie die Wellen besonders gut aus einer bestimmten Richtung aufnimmt. Liegt der UKW-Sender in der Verlängerung der beiden Dipolarme, dann ist die Aufnahmefähigkeit der Antenne schlecht. Sie ist am besten, wenn der Sender senkrecht zu den Dipolästen liegt. Es ist mithin darauf zu achten, in welche Stellung man seine UKW-Antenne bringt.



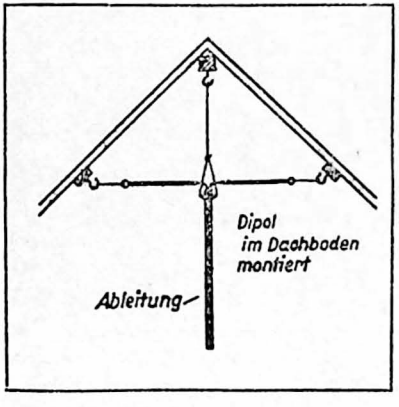
Um sich die ersten Versuche mit einer Dipolantenne zu vereinfachen, befestigt man die waagerechten Dipolenden auf einem Brett, das man provisorisch in verschiedene Lagen und Höhen bringt, bis man weiß, so oder so sind die günstigsten Empfangsverhältnisse gegeben. Es kann durchaus sein, daß die Dipolarme eine andere Richtung einnehmen müssen, als man zuvor auf Grund seiner Kenntnis von dem Standort des Senders angenommen hatte: die ultrakurzen Wellen werden oft reflektiert, so daß sie aus einer ganz anderen Richtung als aus jener des Senders zur Antenne gelangen können.



In Sendernähe sind die Verhältnisse nicht sehr kritisch. Häufig genügt die Verlegung des gespaltenen Kabels unter dem Teppich, wobei die geeignete Lage durch Versuche bestimmt werden muß.

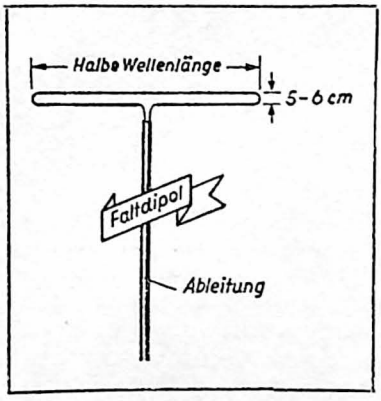


Die Dipolantenne, stabil ausgeführt, kann auch im Freien, am Fenster, auf dem Balkon, auf dem Dach angebracht werden. Es bleibt der Basteltüchtigkeit des einzelnen überlassen, geeignete isolierte Halte-Konstruktionen für den Dipol zu finden. Auf schädigende Witterungseinflüsse muß Rücksicht genommen werden.

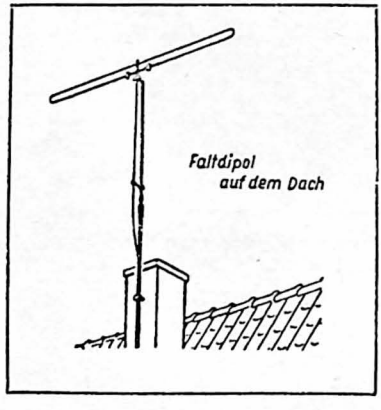


Die „Dachbodenantenne", die fast in Vergessenheit geraten ist, verspricht, als Dipol ausgebildet, gute Ergebnisse beim UKW-Empfang. Sie kann z. B. frei an Fäden aufgehängt werden. Wie für den „normalen" Rundfunk gilt, daß die Antenne um so besser ist, je höher sie aufgebaut wird.

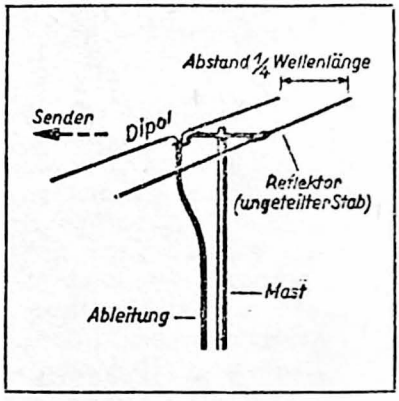
Um ganz sicher zu gehen, wird der Rundfunkhörer sich einen käuflichen Dipol der einen oder anderen Art zulegen.



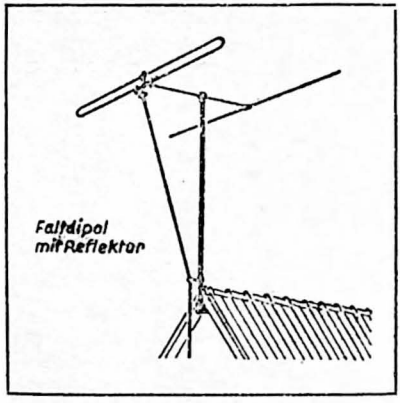
Ein Kunde könnte fragen, was ein „gefalteter Dipol", ein „Faltdipol" oder ein „Schleifendipol" ist. Vielleicht hat er davon in einer Rundfunkzeitschrift gelesen. Man erklärt ihm, daß diese Spezial-UKW-Antenne aus einer in sich beinahe geschlossenen Schleife (von halber Wellenlänge) besteht, deren Enden in die Ableitung münden. Man sagt dem Kunden ferner, daß ein solches Gebilde die Lautstärke des Empfanges gegenüber dem einfachen Dipol nicht erhöht, daß es aber andere Vorteile hat. Die Vorteile eines Faltdipols sind: 1. schärfere Richtwirkung; 2. Aufnahmefähigkeit für einen breiteren Frequenzbereich: 3. stabilerer Aufbau.



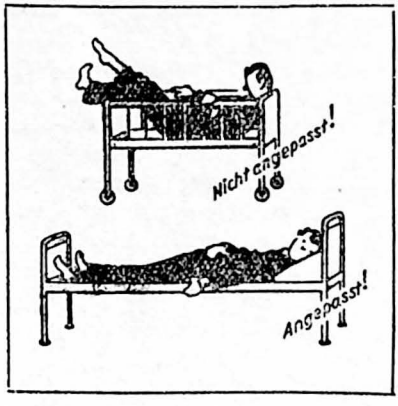
Der Faltdipol eignet sich wegen seiner größeren Stabilität besonders zur Anbringung im Freien, z. B. auf dem Dach.



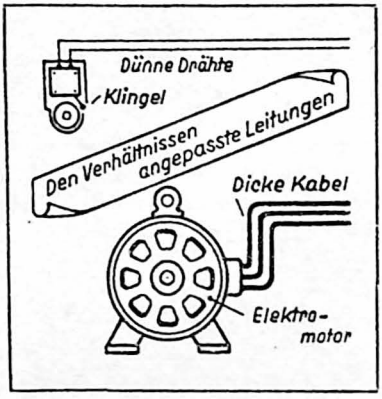
Ein anderer Kunde weist vielleicht darauf hin, daß er von „Reflektor-Antennen" für den UKW-Empfang gehört habe. Auch ihm müssen wir eine Erklärung geben können. Eine Reflektorantenne besteht aus einem normalen Dipol, hinter dem (in Richtung vom UKW-Sender) ein durchgehender Metallstab angebracht ist (Abstand 1/4 Wellenlänge; bei einer UK-Welle von 3 Metern also 75 cm). Der parallel zum Dipol angebrachte Stab hat keinerlei Anschlüsse. Er hat die Aufgabe, die anflutenden Wellen wie ein Spiegel auf die eigentliche Antenne zu reflektieren. Dadurch werden die Empfangsverhältnisse etwa um die Hälfte besser. Der Reflektorstab soll etwas länger sein als der Dipol selbst, etwa 5%. Bei einer Dipollänge von 150 cm also etwa 157 – 158 cm.



Auch der Faltdipol kann mit einem Reflektor versehen werden. Das Bild zeigt den Aufbau eines Faltdipols mit Reflektor am Dachfirst montiert.

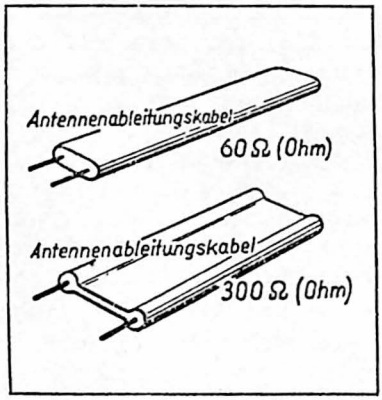


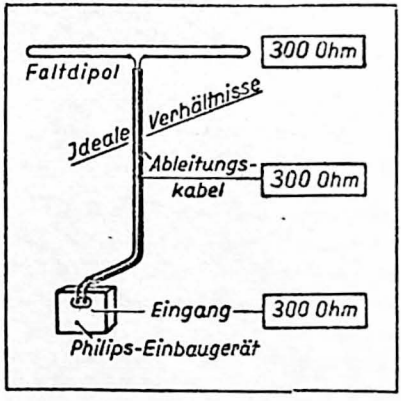
Während man bei gewöhnlichen Rundfunkanlagen kaum auf die „Anpassung" der Antennenanlage an den Radioapparat achtet, kommt ihr beim UKW-Empfang u. U. eine bedeutende Rolle zu. Genau so wie das Bett den Größenverhältnissen des darin Schlafenden angepaßt ist und ein Erwachsener nicht im Kinderbett schlafen möchte, so ist bei der UKW-Antennenanlage auf „Anpassung" an die jeweiligen Verhältnisse zu achten.



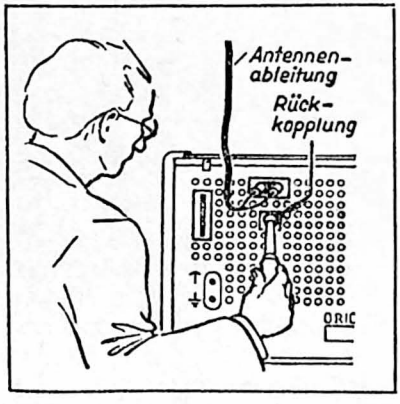
„Angepaßte" Verhältnisse werden überall dort angestrebt, wo beste Resultate erzielt werden sollen. Man paßt z. B. die Art der Beleuchtung den Arbeitsaufgaben des Feinmechanikers an, man paßt die Temperatur im Arbeitsraum den jeweilig gegebenen Arbeitsverhältnissen an. In der Technik paßt man z. B. Wasserrohre der jeweilig zu bewältigenden Wassermenge an, Leitungen für elektrischen Strom werden der jeweiligen Stromstärke angepaßt (dünne Drähte für Klingelleitungen, dicke Kabel für schwere Motoren usw.)

Damit die UKW-Antennenanlage dem Empfänger angepaßt ist muß vor allem der „Wellenwiderstand" der Antennenableitung auf den Eingang des Empfängers abgestimmt werden. Der Anpassungswert des Philips-Einbaugerätes beträgt 300 Ohm. Dementsprechend muß – wenn es darauf ankommt Verluste zu vermeiden – die Antennenableitung einen Wellenwiderstand von 300 Ohm haben. – Vorher wurde der einfache Rat erteilt, ein gewöhnliches zweiadriges Kabel als Ableitung zu verwenden; theoretisch ist das nicht ganz korrekt, denn ein solches Kabel hat einen geringeren Wellenwiderstand; er liegt zwischen 60 und 70 Ohm. Wer besser „anpassen" will, weil ihn die Empfangsergebnisse nicht zufriedenstellen, muß sich ein 300-Ohm-Ableitungskabel beschaffen. Zwei in geringem Abstand voneinander parallel verlaufende einadrige Kabel als Ableitung tun behelfsmäßig den gleichen Dienst. Die Industrie stellt Spezial-UKW-Ableitungskabel mit verschiedenen Ohm-Werten her (siehe Bild).

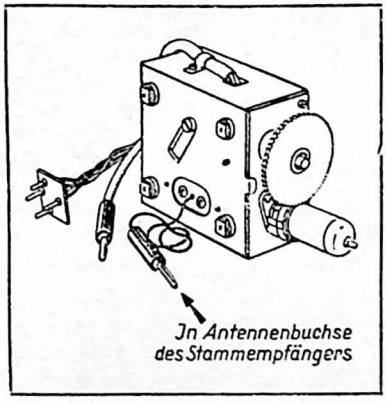




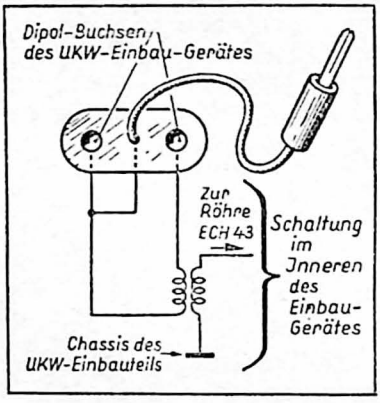
Um ganz genau zu sein, muß zu guter Letzt erwähnt werden, daß der Dipol selbst je nach seinem Aufbau einen verschiedenen Wellenwiderstand hat. Der einfache oder „glatte" Dipol hat einen Widerstand von 60—70 Ohm, der gefaltete Dipol von rund 300 Ohm. Letzte Vollkommenheit erzielt also der Besitzer des Philips-Einbaugerätes bei Verwendung eines Faltdipols (mit Reflektor) und eines 300-Ohm-Ableitungskabels. Aber, wie gesagt: in der Nähe starker UKW-Sender kann man Schönheitsfehler ohne bemerkenswerte Verluste leicht in Kauf nehmen.



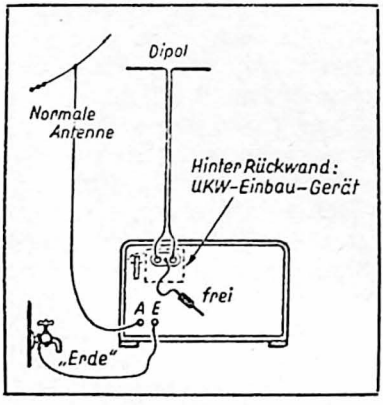
Bei der Abstimmung auf ultrakurze Wellen kann die Empfindlichkeit des Philips-Einbaugerätes durch Vergrößern des Entdämpfungsgrades erhöht werden. Diesem Zweck dient die kleine Schraube im Schlitz des Einbaugerätes. Nach rechts gedreht, wächst die Empfindlichkeit bis zu einem gewissen Punkt, der nicht überschritten werden darf: ein weiteres Anziehen der Entdämpfung ruft völlig verzerrten Empfang hervor. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Drehen des Rückkopplungsknopfes an einfachen Mittel - Langwellen - Empfängern, bei denen ein Zuviel die berüchtigten Pfeiftöne hervorruft.



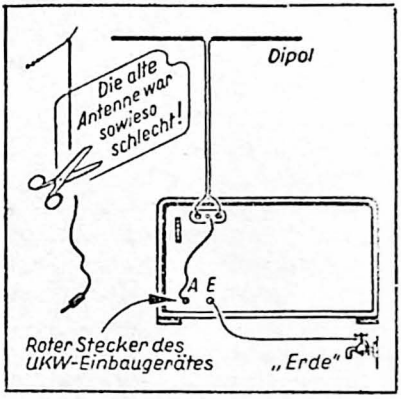
Ein Nachfolger des ersten UKW-Einbaugerätes hat kleine Änderungen erfahren, weniger innerliche als äußerliche. Da ragt z. B. zwischen den Antennenbuchsen eine Leitung heraus, die am Ende mit einem Stecker versehen ist.



Im Inneren des Einbaugerätes ist diese Leitung mit einer der beiden Dipolbuchsen verbunden. – „Dann wäre sie doch gar nicht nötig?" – Doch, denn sie macht dem Rundfunkhörer die Antennenfrage einfacher.



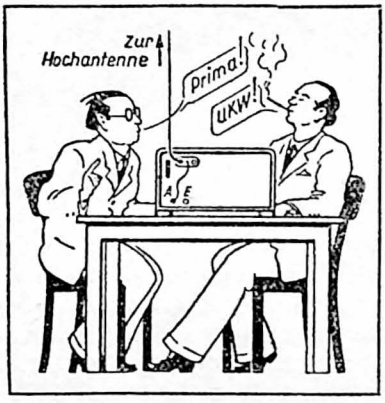
Er braucht nicht zwei Antennen zu haben, eine für den Mittel-, Kurz- und Langwellenempfang, eine andere für die Aufnahme von UKW-Wellen.



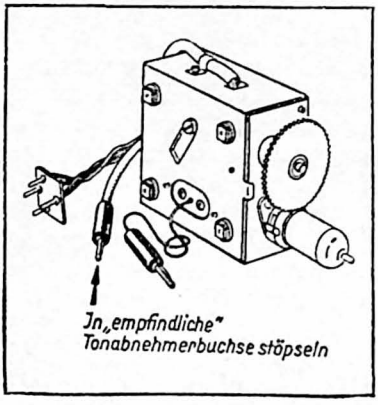
Er stöpselt einfach den rot gekennzeichneten Stecker am Ende der Leitung, die aus dem UKW-Einbaugerät herausführt, in die Antennenbuchse des Stamm-Empfängers und kommt nun mit nur e i n e r Antenne aus.

Der Dipol ist jetzt Antenne für die Aufnahme aller Wellenarten, ob lang, mittel, kurz oder ultrakurz.

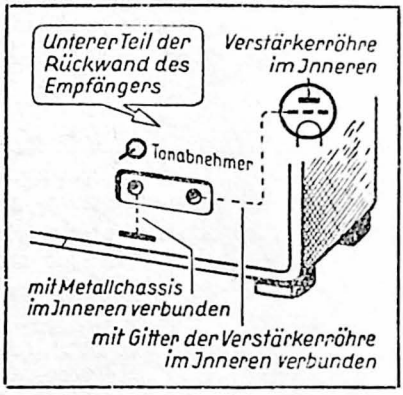
Natürlich empfiehlt man dem Kunden nicht die Demontage einer guten Hochantenne, die ihm bislang ausgezeichneten Empfang sicherte, während für den UKW-Empfang vielleicht nur eine Behelfsantenne als Dipol an der Zimmerwand angebracht wurde. Überhaupt muß die Dipolantenne beste Eigenschaften haben, z.B. hoch angebracht sein, wenn sie als Universalantenne dienen soll



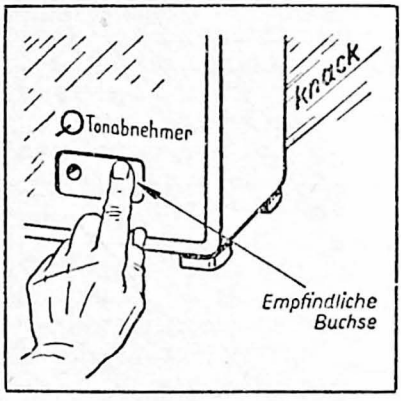
Nicht selten, z.B. in nicht allzugroßer Entfernung vom UKW-Sender, ist der Empfang der Darbietungen ohne Dipol, aber mit der alten Hochantenne völlig einwandfrei, so daß es nicht der Anlage einer besonderen Dipol-Antenne bedarf. Der Hochantennenstecker wird dann in eine der beiden Dipolbuchsen des Einbaugerätes gestöpselt, die andere Buchse bleibt frei. Auch in diesem Falle wird die Rote-Stecker-Leitung in die Antennenbuchse des Hauptempfängers gestöpselt. Die Erdverbindung ist in den meisten Fällen nicht nötig, ja ihre Entfernung, besonders für den UKW-Empfang, oft besser. – Will der Rundfunkhörer absolut zwei Antennen haben, einen Dipol und eine normale Antenne, dann bleibt der rote Stecker unbenutzt.



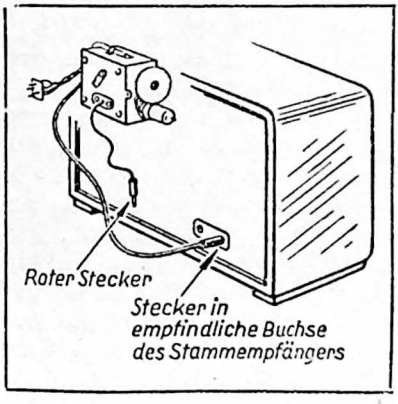
Beim ersten Einröhren-UKW-Einbaugerät (Seite 48 Mitte) waren zwei Stecker für die Einführung in die Tonabnehmerbuchsen des Stammempfängers vorgesehen. Bei der neueren Ausführung ist nur ein Stecker vorhanden. In den Gebrauchsanweisungen heißt es, daß dieser Stecker in die „empfindliche" Tonabnehmerbuchse gestöpselt werden soll. Was versteht man unter „empfindlicher" Tonabnehmerbuchse?



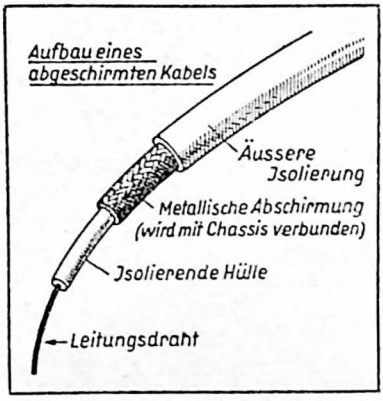
An jedem größeren Empfänger sind auf der Rückseite zwei Buchsen für den Tonabnehmer-Anschluß vorgesehen. Die eine dieser Buchsen ist immer mit dem metallischen Chassis verbunden, während die andere zum Gitter der Verstärkerröhre führt.



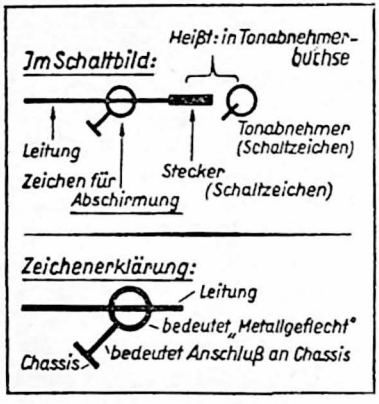
Die eine Buchse ist völlig „unempfindlich". Wenn das Gerät auf Schallplattenspiel geschaltet ist, kann man diese Buchse mit dem Finger berühren, ohne daß der Lautsprecher auch nur den leisesten Laut hören läßt. Die andere Buchse hingegen ist „empfindlich": ihr Berühren ruft sofort ein Krachen im Lautsprecher hervor.



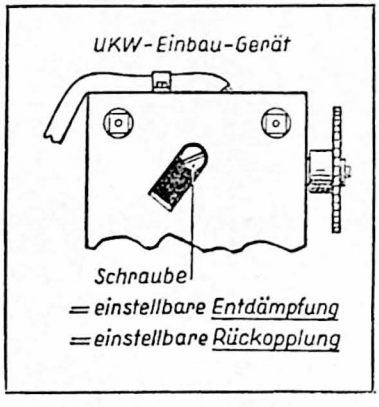
Das kleine Chassis des Einbaugerätes ist nach der Montage mit dem Chassis des Stammempfängers verbunden. Ein zweiter Stecker für die unempfindliche Tonabnehmerbuchse ist deshalb nicht erforderlich.



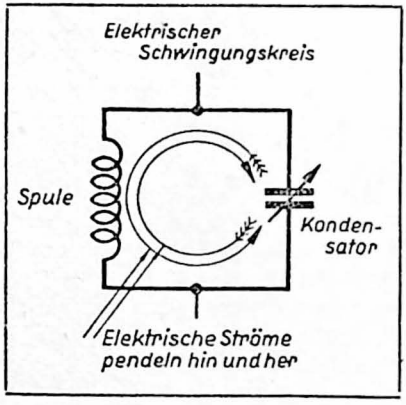
Natürlich ist nicht nur die Buchse „empfindlich", auch die angeschlossenen Leitungen vertragen keine unerwünschten Beeinflussungen. Deshalb umgibt man sie isoliert mit einer metallischen „Abschirmung", einer mit dem Chassis verbundenen Drahtgeflechtumspinnung.



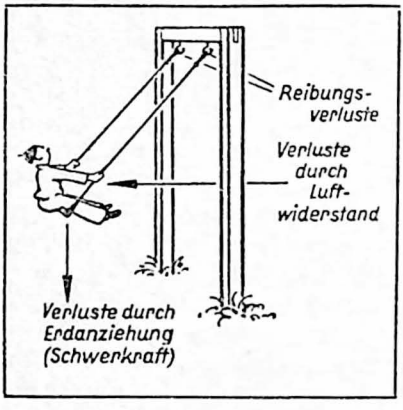
Die Verbindungsleitung vom Einbaugerät zur „empfindlichen" Tonabnehmerbuchse des Stammempfängers ist „abgeschirmt", daher ihre relative Dicke. Ebenso ist die von dieser Buchse im Inneren des Stammempfängers zum Gitter der Verstärkerröhre führende Leitung abgeschirmt. In den Schaltbildern wird die Abschirmung dadurch angedeutet, daß man die entsprechenden Leitungen mit einem besonderen Zeichen versieht, so wie es die Abbildung zeigt.



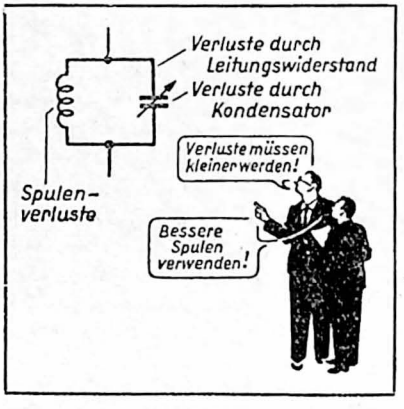
Aus früheren Darlegungen wissen wir, was unter der „Rückkopplung" zu verstehen ist. Wir wissen, daß es eine schalttechnische Maßnahme ist, mit deren Hilfe das Empfangsgerät wesentlich empfindlicher gemacht werden kann. Statt Rückkopplung" finden wir oft die Bezeichnung „Entdämpfung". So wird z. B. beim 1-Röhren-Einbaugerät auf die „einstellbare Entdämpfung" hingewiesen, d.h. auf die in ihrer Wirkung regelbare Rückkopplung.



Bei der Gelegenheit mag das Verständnis für diese Frage etwas vertieft werden. Erinnern wir uns des „Schwingkreises", der in jedem Empfänger eine so wichtige Rolle spielt. Elektrische Ströme schwingen in ihm hin und her. Er besteht aus Spule und Kondensator und den diese Schaltelemente verbindenden Leitungen. – Ein Schwingkreis (oder Schwingungskreis) ist um so besser, je geringer die in ihm auftretenden Verluste sind.

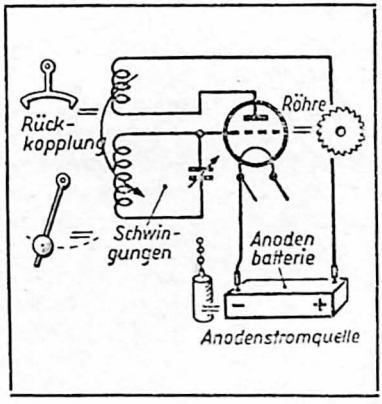


Auch bei mechanischen Schwingungen treten Verluste auf, z. B. bei einer Schaukel: Reibung in der Aufhängung, Luftwiderstand, Schwerkraft. Würden diese Verluste fortfallen, dann hätte man eine Idealschaukel, die ohne Zutun, einmal in Schwingungen versetzt, ewig in Pendelbewegung bleiben würde.

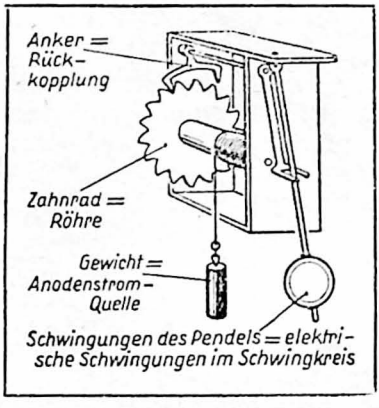


Beim elektrischen Schwingkreis sind es andere Verluste, Verluste, bedingt durch elektrische Widerstände, die sich dem Hin- und Herpendeln (den Hin- und Herschwingungen) der elektrischen Ströme entgegensetzen. Die Radiotechniker achten ganz besonders darauf, daß die Verluste, die „dämpfend" auf die Schwingungen einwirken, möglichst klein gehalten werden. –

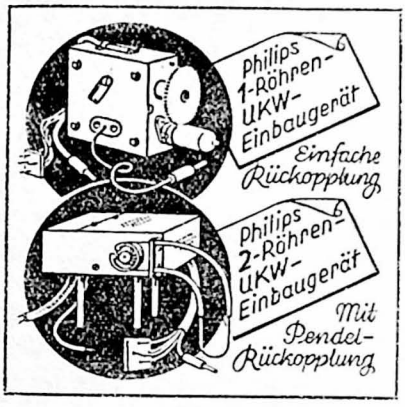
Die Auswirkung aller Verluste eines Schwingkreises bezeichnet man als „Dämpfung". Abgesehen von der Wahl geeigneter Einzelteile für die Schwingkreise, kann eine „Entdämpfung" durch Schaltmaßnahmen herbeigeführt werden, eben durch die Rückkopplungs-Anordnung.



Vergleichen wir mit dem Mechanismus einer Pendeluhr. Das einmal angestoßene Pendel bleibt nicht nach einiger Zeit stehen, es schwingt gleichmäßig weiter. Es steht mit einem „Anker" in Verbindung, der ein gezahntes Rad bei jedem Hin und Her eine kleine Weiterbewegung machen läßt. Bei jeder Schwingung bekommt das Pendel durch das Zahnrad einen leichten Anstoß; es beharrt daher in gleichbleibender Bewegung und regelt den Ablauf des Werkes: es gibt die Frequenz, den Takt an. Das geregelte Werk wiederum liefert dem Pendel die Kraft, weiterzuschwingen: Rückwirkung auf das Pendel, Unterstützung seiner Schwingungen im richtigen Augenblick, eine mechanische Rückkopplung.

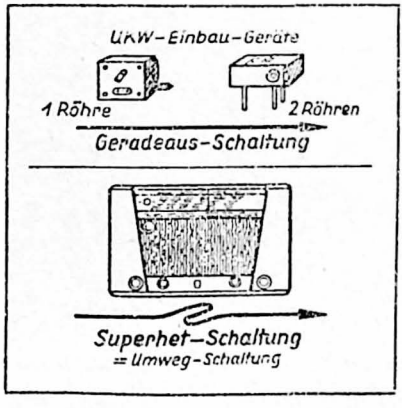


Diese sichtbaren mechanischen Schwingungen entsprechen den unsichtbaren elektrischen im Schwingungskreis. Das Gewicht des Uhrwerks, das den Betrieb in Gang hält, ist der Anodenstromquelle zu vergleichen. Vermittelnd zwischen Triebkraft (Gewicht) und Pendel arbeitet das Zahnrad, wie die Röhre vermittelnd zwischen Anodenstromquelle und Schwingkreis wirkt.

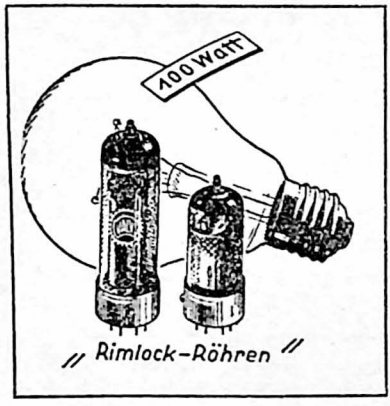


Es gibt verschiedene Arten von Rückkopplungsschaltungen. Unter ihnen spielt die Pendelrückkopplung bei UKW-Empfangseinrichtungen eine besondere Rolle. Ihre Arbeitsweise läßt sich nicht ohne tieferes Wissen über Schwingungsvorgänge erklären, deshalb nur so viel, als daß diese Rückkopplungsart beim UKW-Empfang besonders wirksam ist: der Schwingungskreis wird durch sie in weitem Maße „entdämpft". Mit anderen Worten, das Gerät wird viel empfindlicher, viel leistungsfähiger. – Wie schon bekannt, läßt sich der Rückkopplungs- oder Entdämpfungs-Grad regeln, wobei zu bemerken ist, daß ein Zuviel an Rückkopplung schädlich ist und das Empfangsergebnis verschlechtert.

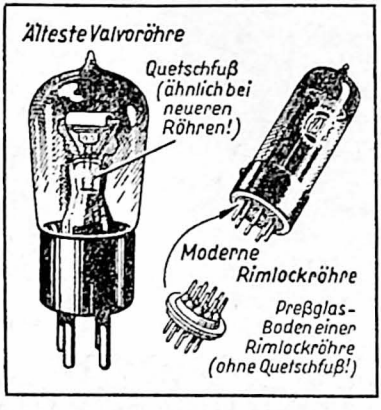
Ein leistungsfähiges weiteres Philips-Einbaugerät ist mit zwei Röhren bestückt und mit Pendelrückkopplung ausgerüstet.



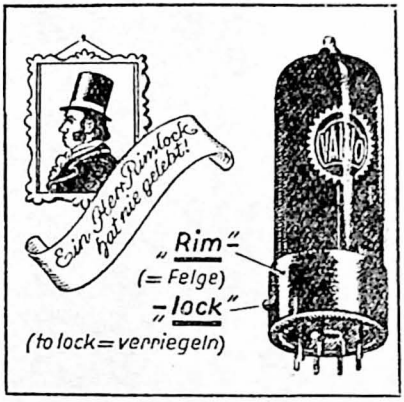
Die beschriebenen UKW-Einbaugeräte sind mit Geradeausschaltungen versehen, das muß hier erwähnt werden, weil diese Bezeichnung in den Prospekten und Ankündigungen gebraucht wird. Es gibt nämlich auch andere Schaltungsarten, z. B. die Superhet-Schaltungen, bei denen der gerade Weg verlassen wird. Der beschrittene Umweg führt aber zu erstaunlichen Leistungsverbesserungen. Hier brauchen wir uns nur zu merken, daß die Einbaugeräte keine „Super-Schaltungen" enthalten, sondern Geradeaus-Empfänger sind.



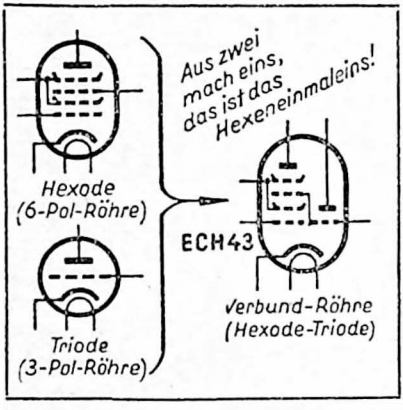
Die in den UKW-Einbaugeräten benutzten modernen Rimlock-Röhren haben besonders günstige Eigenschaften für den UKW-Empfang. Die Rimlock-Röhren sind überhaupt als eine bedeutsame Weiterentwicklung der Röhrentechnik zu werten. Sie sind nicht nur wesentlich kleiner als ihre älteren Schwestern, sondern auch auf Grund ihres eigenartigen Aufbaus mechanisch und elektrisch vollkommener.



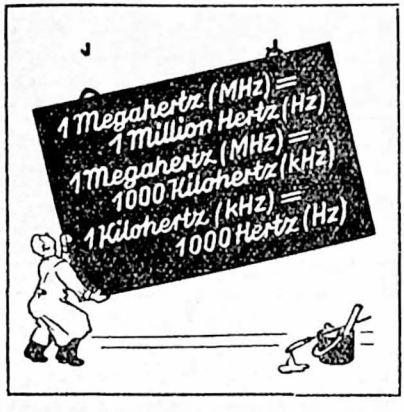
Die Rimlock-Röhren haben keinen gesonderten Sockel. Das alte Leiden der Loslösung des Sockels vom Glaskolben ist bei ihnen überwunden, es sind Ganzglasröhren. Der „Quetschfuß" der alten Typen ist fortgefallen. Die Zuleitung zu den „inneren Organen" gehen von den Elektroden durch den Glasboden der Röhre, der mit dem Kolben „verlötet" wird: Glas mit Glas. Ein schützender Metallring umkleidet den unteren Teil der Röhre.



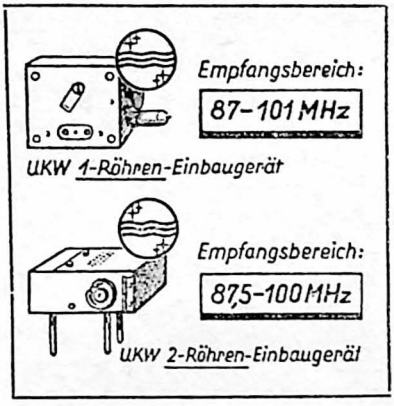
Wo rührt der Name „Rimlock" her? Gab es einen Herrn Rimlock? „Rim" ist englisch und heißt soviel wie Felge; gemeint ist damit der eben erwähnte Metallring. „Lock" bedeutet soviel wie festlegen, verriegeln und bezieht sich auf eine Nocke am Metallring, die dazu zwingt, die Röhre in richtiger Stellung in die Fassung einzuführen.



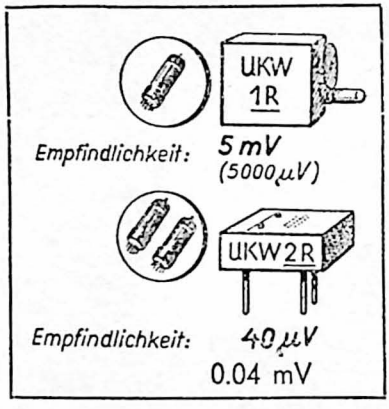
Die ECH 43, eine Rimlock-Röhre, die im Einröhren-Einbaugerät Verwendung findet, ist eine Röhre mit zwei Funktionen. Auf diese und andere Verbund-Röhren wird später näher eingegangen. Hier nur so viel, als daß in ihnen zwei Systeme in einem Glaskolben mit gemeinsamer Kathode und gemeinsamem Heizfaden untergebracht sind.



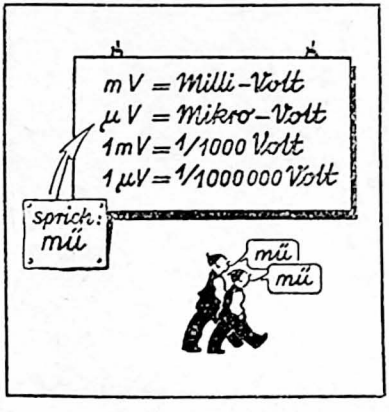
Wenn die UKW-Techniker vom 3-Meter-Band sprechen, so meinen sie damit den Wellenbereich zwischen 2,97 und 3,48 Metern. Innerhalb dieses Bereiches spielt sich der deutsche Ultrakurzwellenbetrieb ab. Ihm entsprechen Frequenzen zwischen 101 Megahertz und 86 Megahertz. Da 1 Megahertz (MHz) gleichbedeutend ist mit einer Million Hertz (Hz), so entsprechen 100 Megahertz 100 Millionen Hz oder 100000 Kilohertz (kHz).



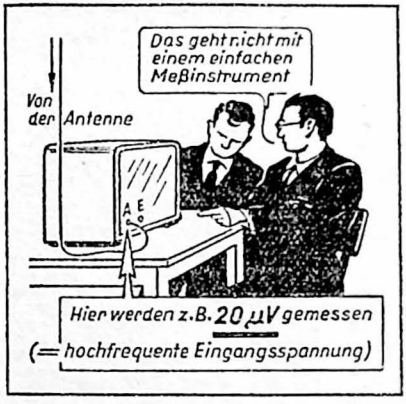
Die Philips-UKW-Einbaugeräte sind so konstruiert, daß sie den ganzen praktisch in Betracht kommenden UKW-Bereich bestreichen.



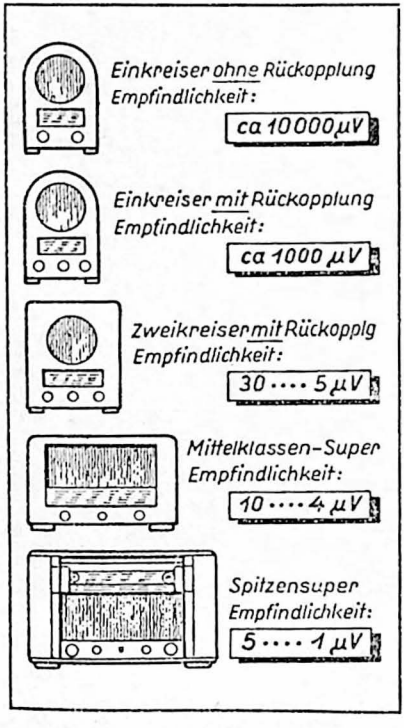
Schließlich finden sich in den Beschreibungen zu den Philips-UKW-Einbaugeräten Angaben über ihre „Empfindlichkeit". – Man weiß, daß ein Empfangsgerät empfindlicher ist als ein anderes, daß man mit diesem mehr Sender „hereinbekommt" als mit jenem. Die Techniker sind sehr genaue Leute, sie messen die Empfindlichkeit ihrer Geräte und geben sie eindeutig in Zahlen an, z. B. mit 5 Millivolt für das 1-Röhren- und mit 40 Mikrovolt für das 2-Röhren-Einbaugerät.



Diese Angaben sagen uns zunächst wenig, wenn wir auch vermuten können, daß dem kleineren Werte die höhere Empfindlichkeit entspricht. 1 Millivolt ist ein tausendstel Volt, ein Mikrovolt ist ein tausendstel mV oder 1 millionstel Volt. Demnach sind 5 mV 5 tausendstel Volt oder 5000 millionstel Volt und 40 Mikrovolt sind 40 millionstel Volt. Die Empfindlichkeit des UKW-2-Röhren-Gerätes ist also 125mal so groß wie die des UKW-1-Röhren-Gerätes.



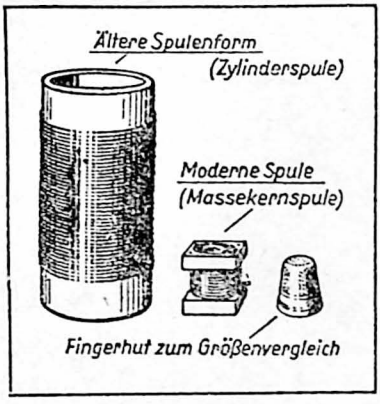
Man rechnet also mit sehr kleinen Spannungswerten, bis herab zu millionstel Volt. Wo treten diese ganz kleinen Spannungen auf? Am Eingang der Empfänger. Es ist die Spannung der in die Empfänger gelangenden hochfrequenten Welle, der Sendewelle an dieser Stelle.



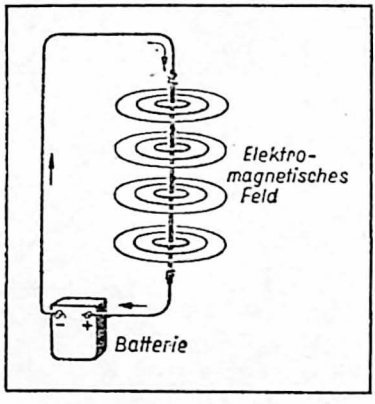
Der Techniker versteht unter der „Empfindlichkeit" eines Empfängers den Effektivwert der hochfrequenten Eingangsspannung, die am Ausgang des Gerätes eine Tonfrequenzleistung von 0,05 Watt hervorruft. (Bei den Messungen müssen noch gewisse andere Bedingungen erfüllt sein). Mit Einzelheiten soll der Leser hier nicht gelangweilt werden; er mag sich aber die nebenstehende Tabelle ansehen, die ihm sagen wird, wie es um die „Empfindlichkeit" verschiedener Empfangsgeräte bestellt ist.

i) VON WICHTIGEN AUFBAUTEILEN DES EMPFÄNGERS

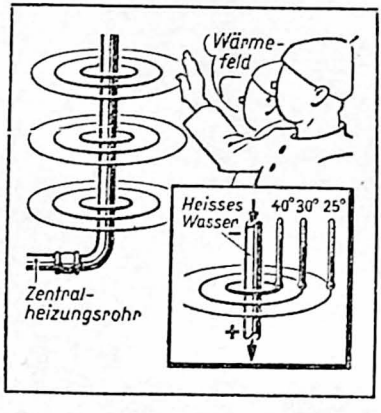
1. Spule und Induktivität



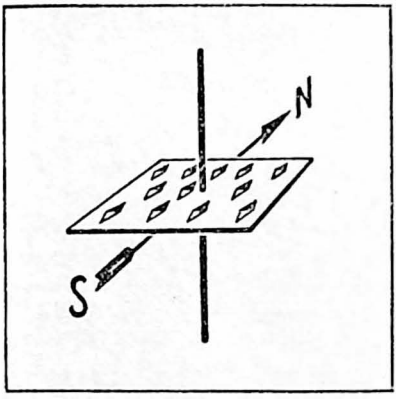
Spulen, wie sie z. B. in Schwingkreisen Verwendung finden, hatten wir bisher nur in ihren einfachsten Formen kennengelernt, als Zylinderspulen. Als solche sind sie fast ganz verschwunden. Sie wurden durch kleinere wirksamere Einheiten ersetzt. Es gibt so viele Ausführungsformen, daß wir hier nicht näher auf die einzelnen eingehen können. Dafür aber sollen die Grundeigenschaften von Spulen, oder wie der Radiotechniker sagt, von „Induktivitäten" untersucht werden.



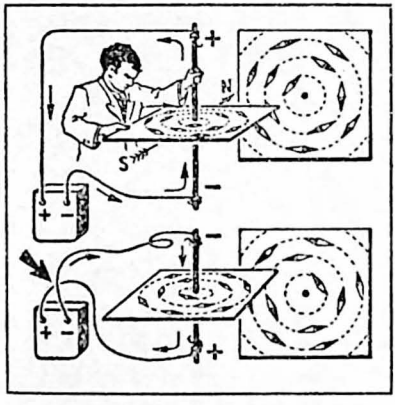
Wenn Strom durch einen Draht fließt, dann entsteht rings um ihn ein „elektromagnetisches Feld". Es umgibt den Draht, immer schwächer werdend, mantelartig. Das nebenstehende Bild deutet mehrere Ebenen des Mantelfeldes an.



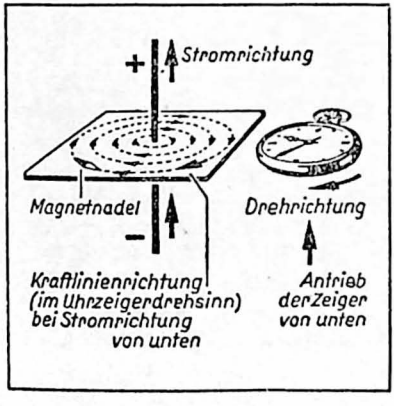
Der Ausdruck „elektromagnetisches Feld" wird verständlich, wenn man mit einem „Wärmefeld" vergleicht, das das heiße Rohr einer Zentralheizungsanlage umgibt. Für die Wirkungen des Wärmefeldes haben wir einen Sinn, den Gefühlssinn. Die Ausstrahlungen des „elektromagnetischen Feldes" lassen sich mit unseren Sinnen nicht aufnehmen.



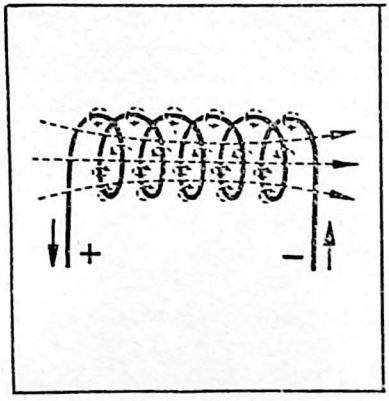
Jedoch stehen uns technische Mittel zur Verfügung, z. B. kleine Kompaßnädelchen. Wir schieben eine Kartonscheibe über den Leitungsdraht und stellen mehrere Kompaßnädelchen darauf. Solange kein Strom durch den Draht fließt, weisen alle mit ihren Nordpolenden gen Norden.



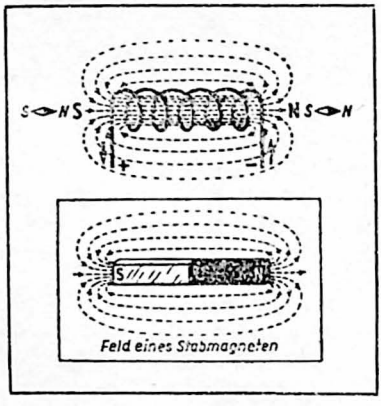
Schicken wir elektrischen Gleichstrom durch den Draht, dann verändern die Nadeln wie durch einen Zauber ihre Stellung, sie ordnen sich in Kreisform weisend an. Eine unsichtbare vom stromdurchflossenen Leitungsdraht ausgehende Kraft hat sie beeinflußt. Es muß eine magnetische Kraft sein, denn sonst wirkte sie nicht auf die Magnetnädelchen ein; hervorgerufen wurde sie durch das Fließen des elektrischen Stromes. Kurz: es ist eine elektromagnetische Kraft, die in einem Feld rings um den Draht wirkt.



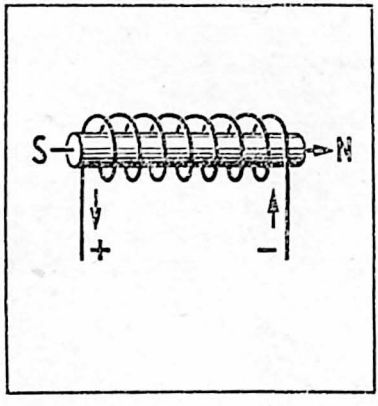
Nach neuerer Anschauung fließt der Strom vom Minuspol einer Gleichstromquelle zu ihrem Pluspol hin (Elektronenstrom). Das wissend, können wir uns leicht merken wie das elektromagnetische Feld verläuft, wenn wir eine Taschenuhr zur Hilfe nehmen. Sagen wir uns, daß der die Nädelchen beeinflussende Strom von unten kommt, wie die Zeiger der daneben gehaltenen Uhr von dem darunter befindlichen Uhrwerk angetrieben werden. Das Kraftlinienfeld verläuft dann in der gleichen Richtung wie die Uhrzeigerbewegung. Eine in das Feld gehaltene Kompaßnadel muß sich mit ihrem Nordpol in diese Richtung einstellen.



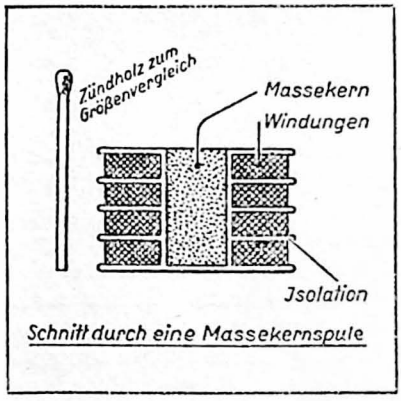
Formt man den Draht zu einer freitragenden Spule, durch die man Strom schickt, so entsteht durch die Summierung der Kraftlinienfelder rings um den Draht im Inneren der Spule ein starkes elektromagnetisches Feld, das zur Bildung eines Nordpols und eines Südpols an den Spulenenden führt.



Das läßt sich leicht mit Hilfe einer Kompaßnadel nachweisen. Das so entstandene elektromagnetische Feld gleicht dem magnetischen Feld eines Stabmagneten.

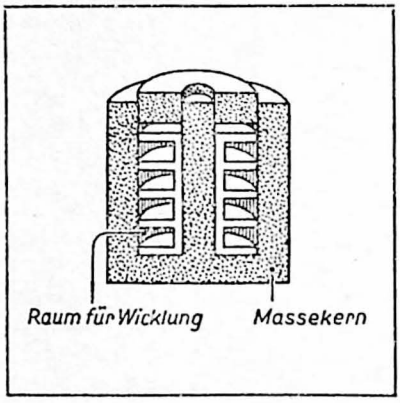


Schiebt man einen Eisenstab in die Spule, dann wird das elektromagnetische Feld kräftiger. Das Eisen zieht die Kraftlinien in sich hinein, der Stab wird selber zum Magneten (Elektromagnetismus).

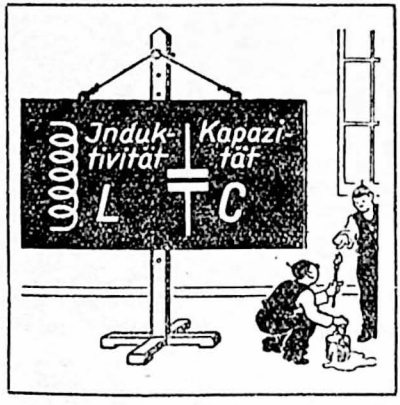


Schnitt durch eine Massekernspule

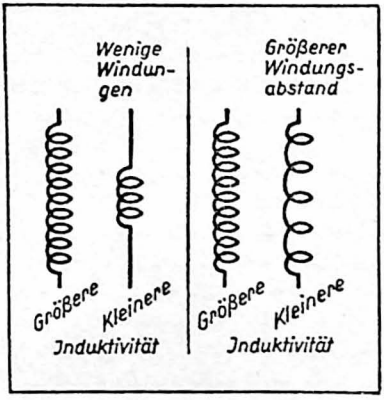
Da es bei den Spulen in den Schwingungskreisen unserer Empfänger darauf ankommt, daß sich ein kräftiges elektromagnetisches Feld ausbildet, versieht man die Spulen mit einem Eisenkern. Er verhindert ein verlustreiches „Streuen" der Kraftlinien nach außen hin, er hält sie zusammen. Würde man einen festen Eisenkern verwenden, dann würden andere böse Verluste auftreten (Wirbelstrom-Verluste). Deshalb preßt man den Eisenkern aus feinstem Eisenpulver, dem ein Bindemittel beigegeben ist und die genannten Verluste treten nicht auf. Die Spule selbst unterteilt man in mehrere Lagen und hat damit ein hochwertiges Schaltelement. Der Radiotechniker spricht von „Massekernspulen".



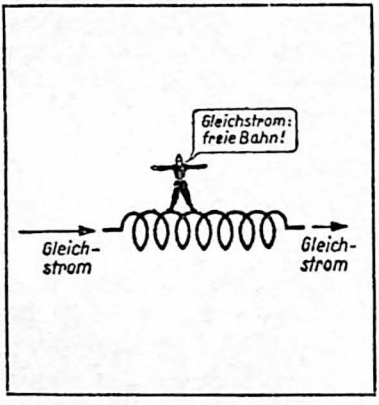
Umgibt man die Spule obendrein noch mit der gleichen gepreßten Eisenpulvermasse, dann wird jegliche Strahlung- und Streuwirkung nach außen hin unterbunden. — Die Eisenkernspule verlangt bei gleichen elektrischen Verhältnissen weniger Drahtwindungen als die alte Zylinderspule.



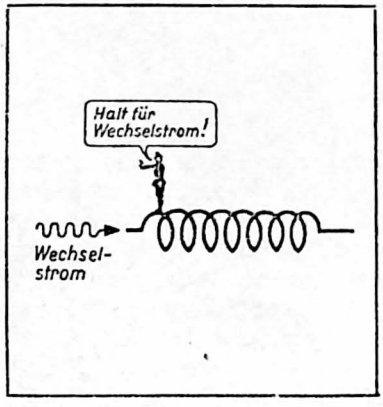
Wenn man beim Kondensator von seiner „Kapazität" als seinem maßgebenden elektrischen Wert spricht, so bezeichnet man das eine Spule charakterisierende Merkmal mit „Induktivität". In Formeln ist für sie der Buchstabe L gebräuchlich (wie das C beim Kondensator).



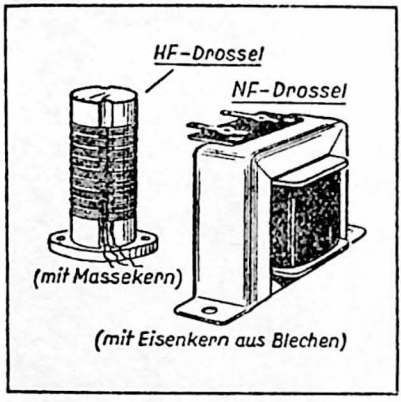
Eine Spule mit größeren Windungen hat eine größere „Induktivität" als eine gleichartig aufgebaute Spule mit weniger Windungen. Der Induktivitätswert richtet sich ferner nach dem Spulendurchmesser und dem Windungsabstand. Größerer Windungsabstand: kleinerer Induktivitätswert. Der Wert der Induktivität wird in Henry (H), bei kleinen Werten in Millihenry (mH) angegeben. –



Spulen haben andere Eigenschaften als Kondensatoren, geradezu entgegengesetzte. Während der Kondensator für den Gleichstrom eine unpassierbare Schranke ist, läßt die Spule Gleichstrom durch.

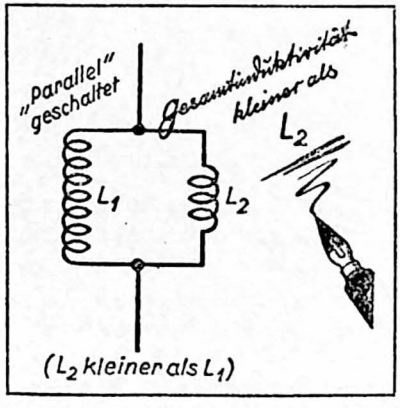


Wechselstrom wird um so schlechter von der Spule durchgelassen, je höher seine Frequenz ist und je größer die Induktivität der Spule ist.



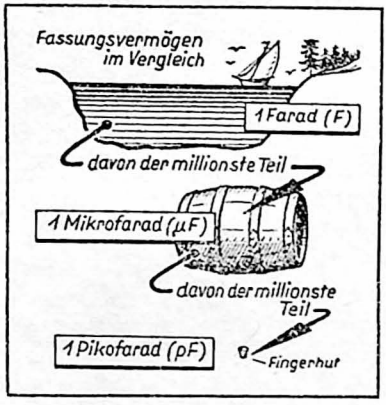
Deshalb kann man Spulen zur Abdrosselung von Wechselströmen verwenden: Drosselspulen. Diese werden je nach ihrem Verwendungszweck (hochfrequente und niederfrequente Ströme) verschiedenartig aufgebaut.

Da die Induktivität der Spule um so größer ist, je mehr Windungen sie hat, entspricht der Gesamtinduktivitätswert zweier hintereinandergeschalteter Spulen der Summe der Einzelinduktivitäten. (Bei Kondensatoren ist es mit der Kapazität umgekehrt).

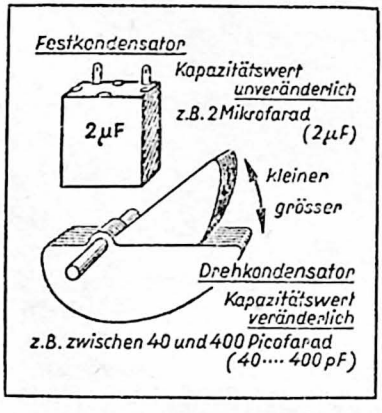


Parallelgeschaltete Spulen haben einen Gesamtinduktivitätswert, der kleiner ist als der kleinste Induktivitätswert der mitwirkenden. Auch hier ist es mit der Kapazität der Kondensatoren umgekehrt.

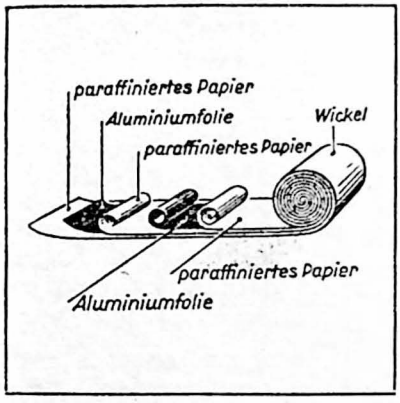
2. Kondensator und Kapazität



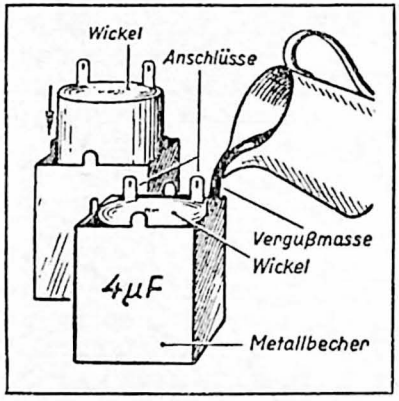
Grundsätzliches über Kondensatoren wurde im Vorausgegangenen bereits gesagt (siehe Seite 44). Hier einige wichtige Ergänzungen. In der Rundfunktechnik verwendet man neben den größeren Typen mit Mikrofaradwerten kleinere, deren Kapazität in Picofarad (abgek.: pF) gemessen wird. Das Picofarad ist der millionste Teil des Mikrofarads und der billionste eines Farads.



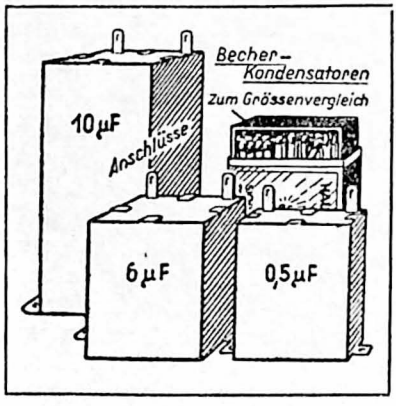
Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Kondensatoren mit festem Kapazitätswert (Festkondensatoren) und solchen, deren Fassungsvermögen geändert werden kann. Hierhin gehören vor allem die „Drehkondensatoren" über die weiter unten mehr gesagt ist.



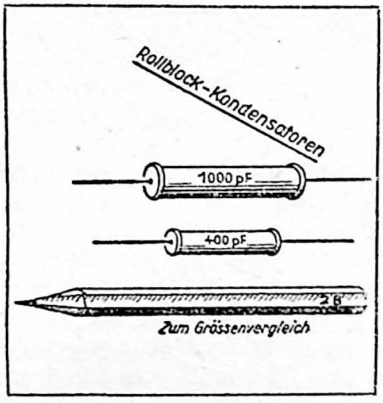
Zunächst wollen wir uns mit dem Aufbau der festen Kondensatoren befassen. Wie gesagt, richtet sich das elektrische Fassungsvermögen eines Kondensators u. a. nach der Größe der sich gegenüberstehenden metallischen Flächen und nach ihrem Abstand. Kondensatoren mit hohen Kapazitätswerten würden daher viel Raum beanspruchen. In der Praxis muß man die Kondensatoren also anders aufbauen. Da gibt es z. B. die „Wickelkondensatoren". Zwischen zwei lange Streifen dünner Aluminiumfolie legt man als isolierendes Mittel ebenso lange Streifen paraffinierten Papiers. Ein weiterer Isolationsstreifen kommt unter das Ganze, dann rollt man die Lagen fest zu einem Wickel zusammen.



Der so erhaltene Wickel, aus dem zwei Anschlüsse herausragen, wird in einen Metallbecher gesteckt und verbleibende Zwischenräume mit Paraffin ausgegossen. Eine kleine Abdeckplatte schließt den Becher ab.

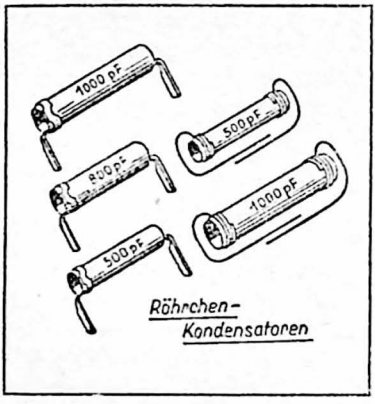


Da der Abstand zwischen den beiden Metallschichten gering ist (Papierdicke) und die Aluminiumstreifen sehr lang sein können, vermag man recht hohe Kapazitätswerte zu erhalten. Normale Becherkondensatoren haben feste Werte zwischen 0,1 µF und 10 µF. Die isolierende Zwischenschicht — im letzteren Fall paraffiniertes Papier — nennt der Techniker „Dielektrikum" (sprich: Di-elektrikum).

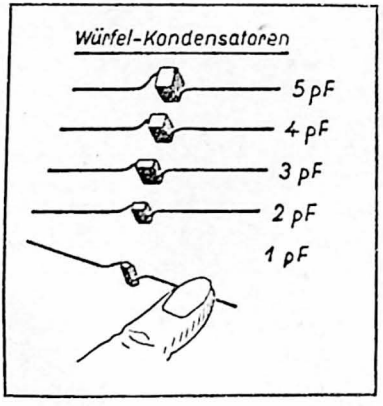


Kondensatoren mit kleineren Kapazitätswerten, wie sie für zahlreiche Aufgaben in Rundfunkempfängern benötigt werden, sind z. B. die „Rollblocks", die ähnlich wie die Wickel der Becherkondensatoren hergestellt werden. Bei ihnen dient, je nach den elektrischen Anforderungen, Papier, Glimmer oder z. B. der Kunststoff Styroflex als Dielektrikum.

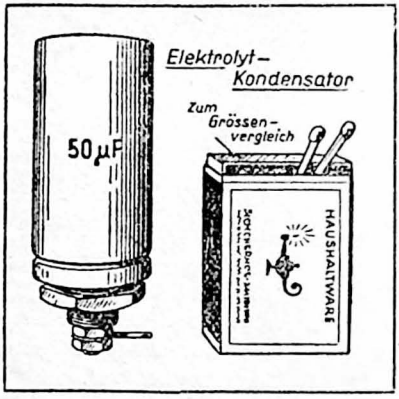
Mit den bisher besprochenen Kondensatorausführungen lassen sich nicht alle Forderungen, insbesondere der Hochfrequenztechnik, wie z. B. äußerst geringe Verluste, Temperaturverhalten, Konstanz, geringe räumliche Abmessungen zufriedenstellend und wirtschaftlich erfüllen.



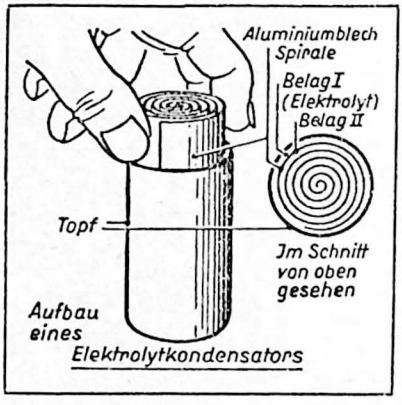
Zur Erfüllung dieser Forderungen werden Kondensatoren benutzt — häufig in Röhrchenform — bei denen das Dielektrikum aus keramischer Masse besteht. Durch geeignete Wahl der Masse kann man die Kapazität und Eigenschaften in weiten Grenzen beeinflussen. Die „Beläge" (das sind die beiden metallischen Flächen) bestehen aus aufgebranntem Silber. Die Kapazitätswerte dieser Kondensatoren sind daher sehr konstant und liegen zwischen 3–5 und ca. 10000 pF. Sie sind mit Lötfahnen oder mit Drahtanschlüssen versehen.



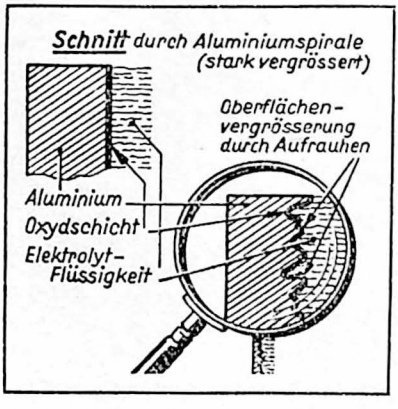
Kapazitätskleinstwerte zwischen 1 und 5 pF werden mit keramischem Material als Dielektrikum in Form kleiner Würfel hergestellt. (Würfelkondensatoren). Es gibt noch eine Reihe anderer Formen z. B. Scheiben-, Hütchen-, Drahtkondensatoren. Das Prinzip all dieser Kondensatoren, ob Block-, Roll- oder Wickeltypen, ist das gleiche.



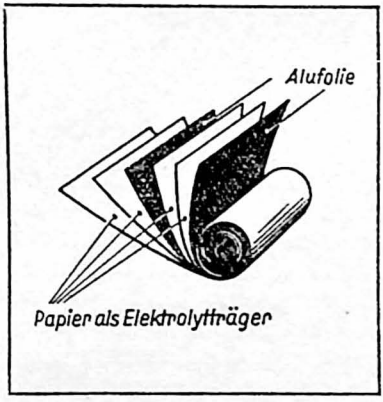
Eine Klasse für sich bilden die „Elektrolytkondensatoren", mit denen sich hohe Kapazitätswerte bis 1000 µF in einem Becher erreichen lassen, dabei sind sie relativ klein. Ein Anschluß ist das Aluminiumgehäuse selbst, ein anderer ragt isoliert heraus.



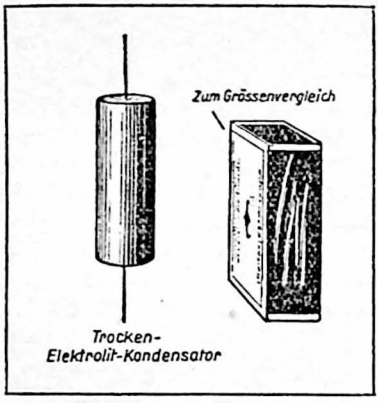
Die Kapazität eines Kondensators ist — wie dem Leser bekannt ist — um so größer, je näher die Beläge aneinandergerückt sind. Beim Aufbau eines Elektrolytkondensators geht man zur Erreichung dieses Zieles auf eine ganz raffinierte Weise vor. Man stellt einfach eine Aluminiumblech-Spirale (als einen der beiden Beläge) in einen Aluminiumzylinder und gießt eine stromleitende salzhaltige Lösung (Elektrolyt) in das Gefäß. Das Aluminium überzieht sich mit einer hauchdünnen nicht leitenden Oxydschicht und bildet so das Dielektrikum. Der Abstand der „Beläge" voneinander ist mithin auf ein äußerstes Mindestmaß reduziert.



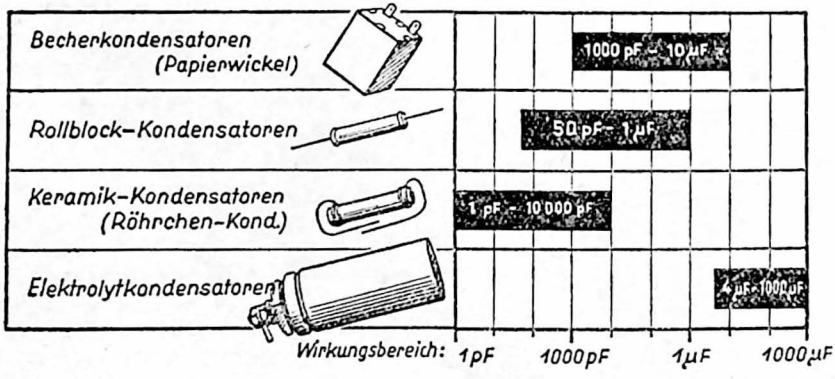
Aber mehr noch: um die Oberfläche der sich beeinflussenden „Beläge" möglichst groß zu machen, rauht man das Aluminiumblech auf. Auf diese Weise ergeben sich die erwähnten hohen Kapazitätswerte auf kleinem Raum.



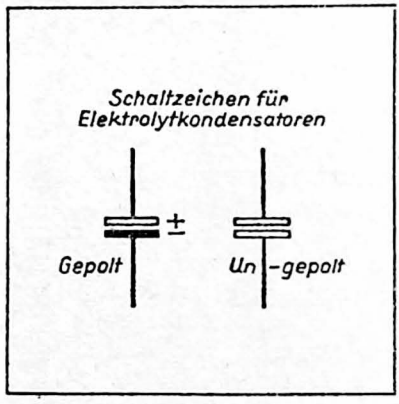
Diese „Naß-Elektrolytkondensatoren" werden heute kaum mehr hergestellt: man verwendet vorzugsweise „halbtrockene" Wickelkondensatoren mit saugfähigem Papier als Elektrolytträger.



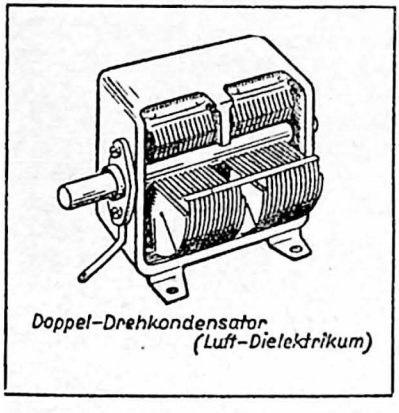
Man nennt sie — nicht ganz korrekt — „Trockenelektrolytkondensatoren". Sie sind von einer schützenden Papprolle umgeben, aus der die Anschlußenden herausragen.



Ein Vergleich der Kapazitätswerte, die sich mit den verschiedenen Festkondensatoren erreichen lassen, gibt die bildliche Darstellung.

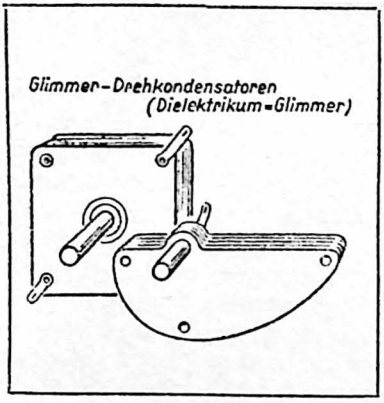


Die Anschlüsse „Plus" und „Minus" dürfen bei den meisten Elektrolytkondensatoren — bei den „gepolten" Typen — nicht miteinander vertauscht werden. Es gibt auch „ungepolte" Elektrolytkondensatoren, die beliebig angeschlossen werden können. In den Schaltbildern werden die beiden Arten auf nebenstehende Weise gekennzeichnet.

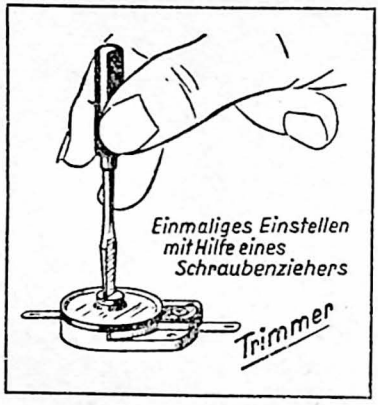

Doppel-Drehkondensator
(Luft-Dielektrikum)

Bei den Drehkondensatoren wird der Kapazitätswert dadurch verringert, daß man ein Paket elektrisch miteinander verbundener Metallplatten besonderer Formgebung aus einem anderen ähnlich gestalteten aber feststehenden Plattenpaket herausdreht; ein Hineindrehen vergrößert die Kapazität. —

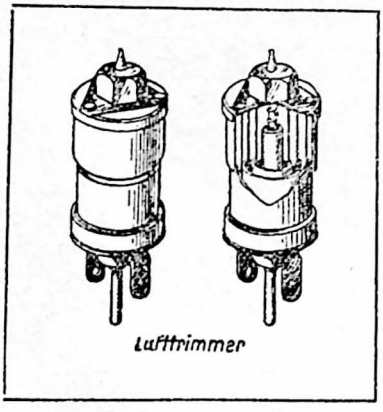
Drehkondensatoren haben ein Luftdielektrikum, wenn es auf Geringhaltung von Verlusten ankommt. Die äußeren Platten des Rotors sind geschlitzt, damit man es leichter hat, ganz gleichartige Verhältnisse bei mehreren Kondensatoren mit gemeinsamer Achse zu schaffen (leichtes Verbiegen der Sektoren).



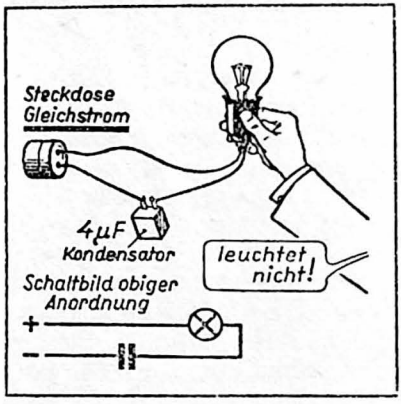
Drehkondensatoren mit anderen Dielektriken als Luft (Glimmer, Hartpapier, Trolitul, usw.) beanspruchen zwar wesentlich weniger Raum, bringen aber Verluste mit sich. Sie werden deshalb nur dort verwendet, wo diese in Kauf genommen werden können.



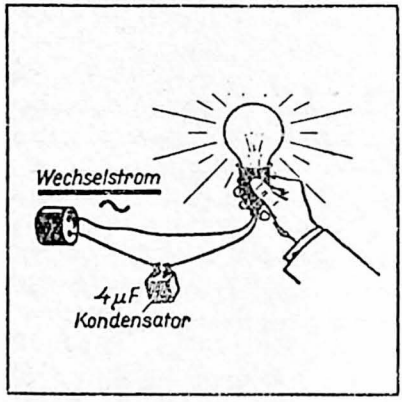
Es gibt noch eine andere Art veränderlicher Kondensatoren die sogenannten „Trimmer". Sie haben kleine Kapazitätswerte und dienen zum „Abgleichen" elektrischer Schwingkreise; d. h., daß sie einen kleinen zusätzlichen Kapazitätswert liefern, der einmal als geeignet gefunden, fest eingestellt bleibt. Trimmer bestehen z. B. aus runden Keramikscheibchen, mit einseitig aufgebrannten leitenden Schichten. — Scheibentrimmer —. Kapazitätsänderung wie bei Drehkondensatoren.



Philips stellt eine sehr verlustarme Ausführung, den nebenstehend gezeigten Lufttrimmer, her.
Die beiden Kondensatorflächen werden durch mehrere konzentrisch angeordnete Rohre gebildet, die ohne sich zu berühren, ineinandergreifen. Die Kapazität wird durch die Eintauchtiefe bestimmt und wird durch Drehen des Oberteiles auf der in der Mitte des Unterteiles befindlichen Gewindespindel eingestellt.

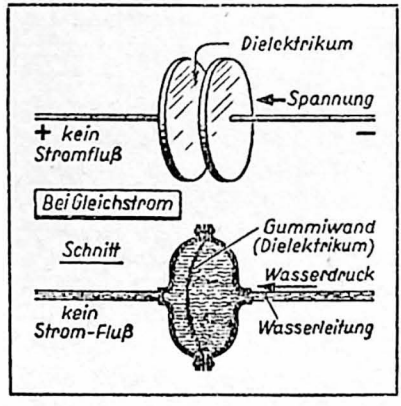


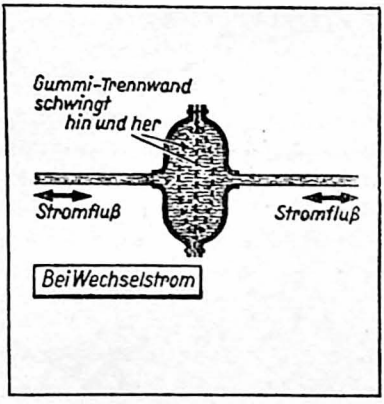
Kondensatoren lassen Gleichstrom nicht hindurch. Ein in einen Gleichstromkreis geschalteter Kondensator unterbindet den Stromfluß, mag sein Kapazitätswert noch so groß sein.



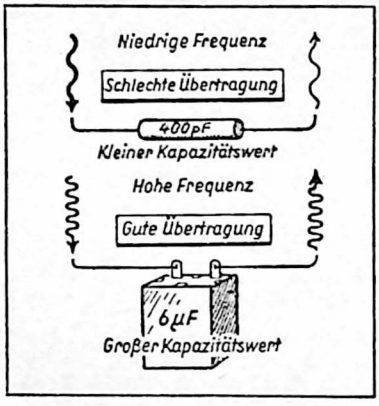
Wiederholt man den Versuch am Wechselstromnetz, so zeigt es sich, daß die angeschlossene Glühlampe trotz der Zwischenschaltung des Kondensators aufleuchtet.

Das könnte zu der Annahme verleiten, daß Kondensatoren Wechselstrom hindurchlassen. In Wirklichkeit ist das nicht der Fall. Ein Wasservergleich wird das sofort verständlich machen. Wir ersetzen den Kondensator durch ein Gefäß mit einer Trennwand aus Gummi, etwa in der Form wie es das Bild zeigt. Rechts und links sind Leitungen angeschlossen. Kommt der Strom aus einer Richtung geflossen (Gleichstrom), dann biegt sich die Gummiwand im ersten Augenblick wohl durch, aber damit hört jeder Bewegungsvorgang auf: Das Wasser kann in den Leitungen nicht weiterfließen.

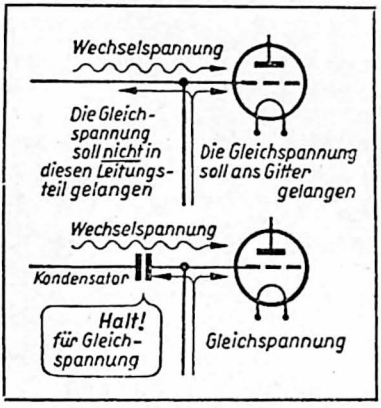




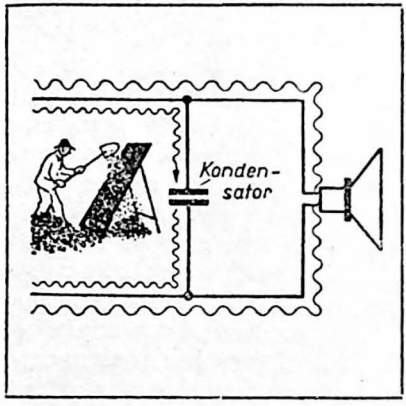
Anders wenn wir einen Wasserwechselstrom durch die Leitung schicken. Seine ständige Wechselbewegung bleibt erhalten, trotz der trennenden Gummiwand, die sich im Rhythmus der Richtungswechsel des Wasserstromes einmal nach links hin, dann nach rechts hin durchbiegt. In den angeschlossenen Leitungen bleibt der Wechselstromfluß so erhalten, als sei kein Hindernis eingebaut.



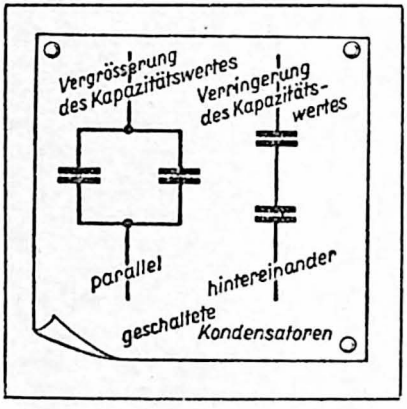
Je größer der Kapazitätswert des Kondensators ist, um so besser wird Wechselstrom durch ihn übertragen. Auch die Frequenz des Wechselstromes spielt dabei eine Rolle: bei niedriger Frequenz ist die Stromübertragung eine schlechtere als bei hoher Frequenz.



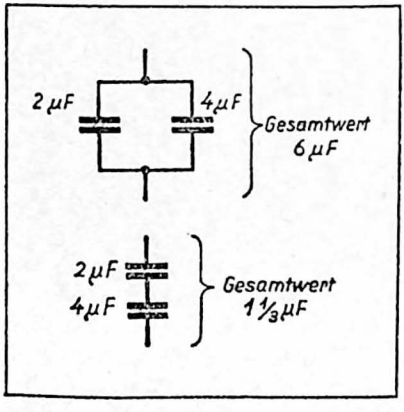
Von der Tatsache, daß Wechselstrom durch den Kondensator hindurch übertragen werden kann und der Gleichstromfluß gestoppt wird, macht man in der Radiotechnik häufig Gebrauch. Man will z. B. dem Gitter einer Röhre Wechselschwingungen zuführen und gleichzeitig eine Gleichspannung an das Gitter legen. Diese Gleichspannung soll aber nicht über die wechselstromführende Leitung (im Bilde nach links hin) gelangen. Ein zwischengeschalteter kleiner Kondensator löst das Problem auf einfachste Weise.



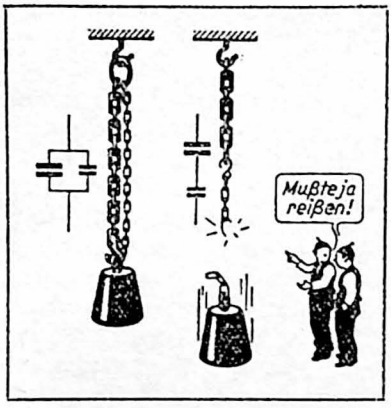
In einem anderen Fall möchte man niederfrequenten Strom von hochfrequentem trennen. Der niederfrequente Stromanteil soll z. B. über einen Lautsprecher fließen, während der hochfrequente Anteil vom Lautsprecher ferngehalten werden soll. Man legt einfach einen Kondensator „parallel" zum Lautsprecher. Die Wege trennen sich dann so wie im Bild gezeigt.



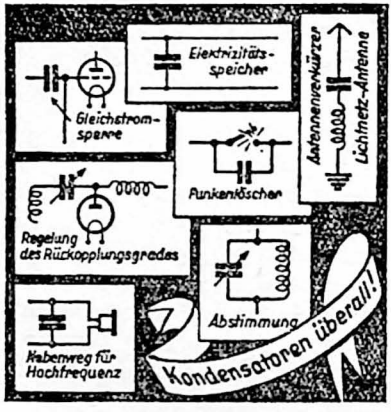
Wenn zwei Kondensatoren zusammengeschaltet werden sollen, so kann das auf die eine oder andere Weise geschehen, man kann sie „parallel" oder „hintereinander" schalten. Die Gesamt-Kapazität ist in den beiden Fällen verschieden groß.



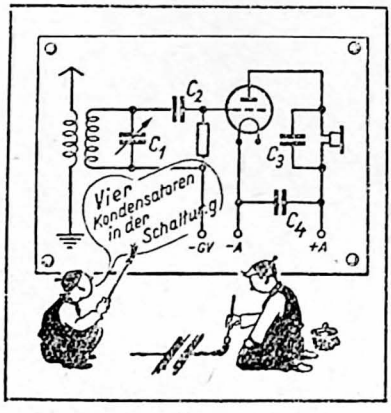
Bei der Parallelschaltung vergrößert sich der Kapazitätswert: Summierung der Einzelwerte. Bei der Hintereinanderschaltung ist der Gesamtwert immer geringer als der kleinste Kapazitätswert.



Man kann sich das leicht merken, wenn man daran denkt, daß zwei Ketten zu einer Doppelkette zusammengelegt (parallelgeschaltet) die Gesamtstärke vergrößern, einerlei, ob die eine Kette schwächer, die andere stärker ist. Werden aber ein schwächeres und ein stärkeres Kettenstück „hintereinander" geschaltet, so richtet sich die Stärke der Gesamtanordnung nach der des schwächsten Stückes. (Bei hintereinandergeschalteten Kondensatoren ist der Gesamtwert – wie oben gesagt – sogar noch geringer.)



Der Verwendungsbereich von Kondensatoren ist groß. Man findet sie als Elektrizitätsspeicher, zur Beruhigung von Spannungen und Strömen, zum Abriegeln von Gleichströmen bei gleichzeitiger Übertragung von Wechselspannungen. Sie spielen zusammen mit Spulen in den Schwingkreisen eine bedeutende Rolle. Sie werden zum Regeln des Rückkopplungsgrades benutzt, zum Trennen von Hochfrequenz und Niederfrequenz, zur Änderung der Tonlage in Tonfrequenzkreisen, zur Entstörung elektrischer Anlagen usw.



In Formeln und Schaltzeichnungen werden Kondensatoren mit dem Buchstaben C bezeichnet (C_1, C_2, C_3 usw.).

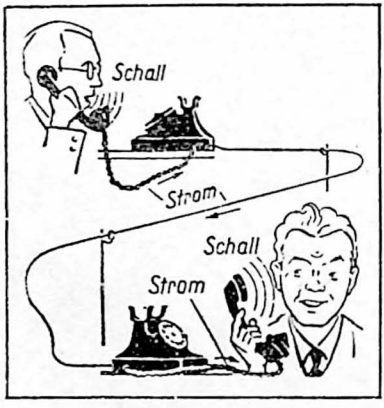
Kondensatoren	Spulen
Kapazität **C** gemessen in: Farad (F) Mikrofarad (µF) Picofarad (pF)	Induktivität **L** gemessen in: Henry (H) Millihenry (mH) Mikrohenry (µH)
Gleichstrom: Halt! ~Strom: Durchlaß	~Strom: Halt! Gleichstrom: Durchlaß
C_1 C_2 $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ C_1 C_2 $C = C_1 + C_2$	L_1 L_2 $L = L_1 + L_2$ L_1 L_2 $L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$

Die nebenstehende Tabelle stellt die Merkmale von Kondensatoren und Spulen nebeneinander.

III. Schall auf 100 Wegen

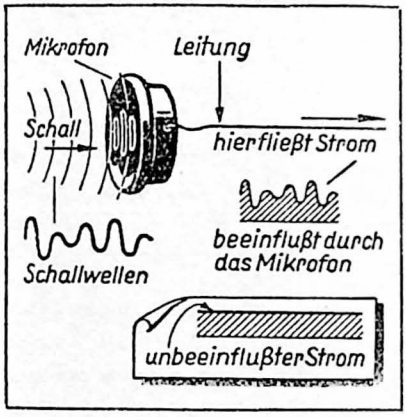
A) VOM MIKROFON ÜBER DEN VERSTÄRKER ZUM LAUTSPRECHER

Von Mikrofonen weiß so ziemlich jeder etwas, begegnet man ihnen doch auf Schritt und Tritt: jeder Fernsprecher enthält ein Mikrofon.

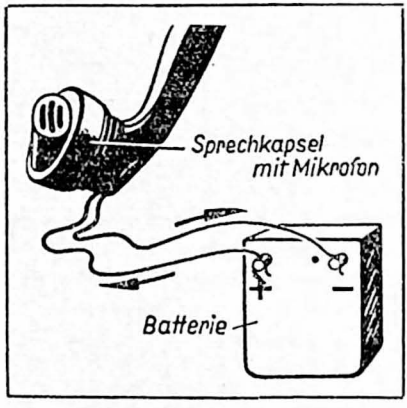


Wenn man etwas in das Mikrofon des Fernsprechers hineinspricht, so gelangt das gesprochene Wort über eine Drahtleitung zum angerufenen Teilnehmer. Aber nicht etwa Schall wird durch den Draht geleitet, durch ihn fließen nur elektrische Ströme.

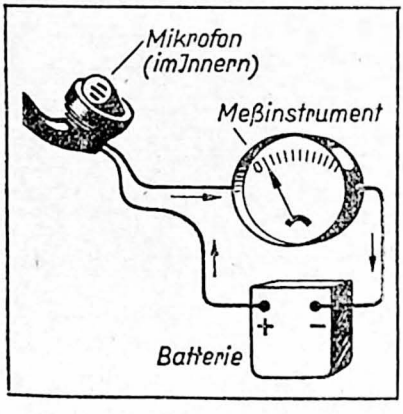
Aber am Anfang ist das Mikrofon. Es hat die Aufgabe, den Schall und seine Wellen in ähnlich geartete elektrische Ströme zu verwandeln. Jenseits der Leitung – am anderen Ende – sorgt dann ein zweites Instrument für die Rückwandlung der elektrischen Stromschwankungen in hörbaren Schall. – Nehmen wir wieder einen Wasservergleich zu Hilfe und stellen wir uns eine Schlauchleitung vor, durch die ein Wasserstrom gleichmäßig fließt. Der Strom erreicht, bedingt durch ein gelindes Zusammendrücken des Schlauches, nicht seine volle Stärke. Wird der Druck auf den Schlauch gelockert, so fließt mehr Wasser am Ende des Schlauches heraus.



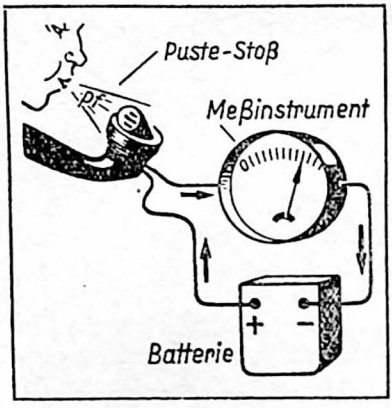
Ähnlich wie man den gleichmäßigen Wasserstrom beeinflussen kann, und zwar dadurch, daß man ihn einmal einen größeren, einmal einen kleineren Widerstand überwinden läßt, ist es möglich, den zunächst gleichmäßigen elektrischen Stromfluß Schwankungen zu unterwerfen. Das Mikrofon (z. B. des Fernsprechers) kann zu einem Beeinflusser des Stromflusses in der angeschlossenen Leitung werden — und damit kann es uns große Dienste tun.



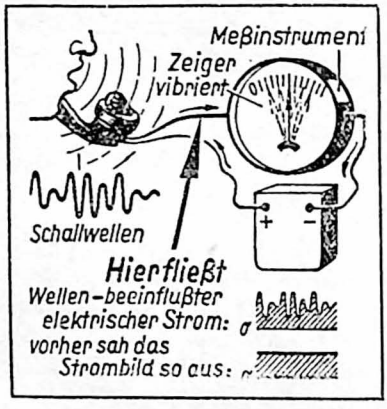
In der Zeichnung ist ein Mikrofon angedeutet, wie es sich im unteren Teil eines „Fernsprechhörers" befindet. Es ist mit einer Batterie verbunden, die einen gleichmäßig fließenden Strom liefert.



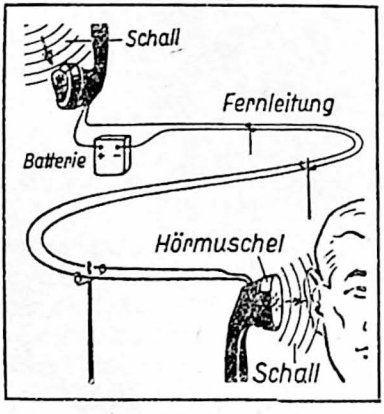
In eine der Verbindungsleitungen wird ein empfindliches Meßinstrument geschaltet, das einen kleinen, gleichbleibenden Stromfluß anzeigt (denn das Mikrofon ist ein Widerstand im Stromkreis).



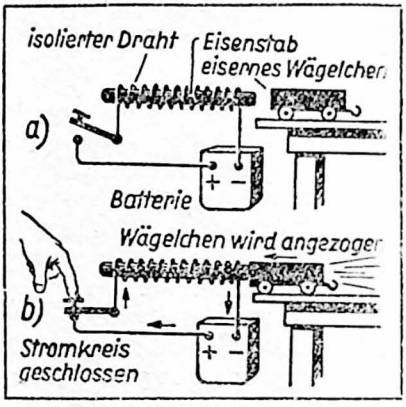
Pustet man leicht auf die Mikrofonkapsel, dann schlägt das Meßinstrument aus. Das besagt, daß sich die Stromverhältnisse im Mikrofonkreis geändert haben. (Der Widerstand des Mikrofons ist durch den Puste-Druck geringer geworden, so daß mehr Strom fließen kann.)



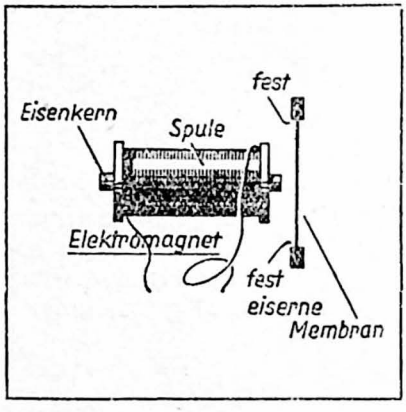
Treffen statt des Pusteluftstoßes Schallwellen das Mikrofon, so beeinflussen diese die Stromverhältnisse im Mikrofonkreis auf eine ähnliche Weise. Das Mikrofon reagiert derart, daß es den Rhythmus der Schallwellen auf den elektrischen Stromfluß überträgt, der also dann den gleichen Schwankungen wie die Luft vor dem Mikrofon unterworfen ist.



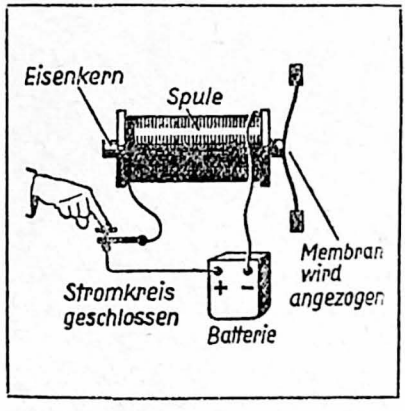
Die bisher geschilderte Anlage diente nur der physikalischen Erläuterung der Verhältnisse. In der Praxis und bei einer Fernsprechanlage will man — und muß man — den in Strom verwandelten Schall wieder hörbar machen. Das geschieht mit Hilfe eines Schallwiedergabeinstrumentes, das man über eine längere Leitung an Stelle des Meßinstrumentes einschaltet.



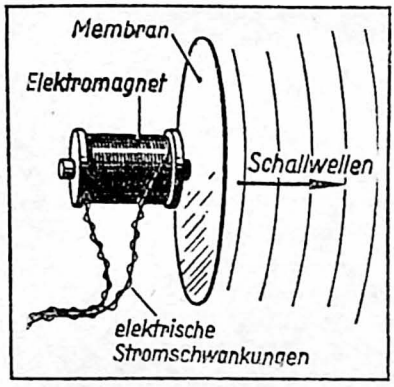
Um seine Arbeitsweise verstehen zu können, muß etwas ausgeholt werden. — Wickelt man einen isolierten Draht mehrmals um einen Eisenstab und schickt dann Strom durch diese Windungen, so wird der Stab magnetisch. Je stärker der Strom ist, um so größer wird die magnetische Kraft, die vom Eisenstab ausgeht. — Eine derartige Einrichtung nennt der Elektrotechniker einen „Elektromagneten".



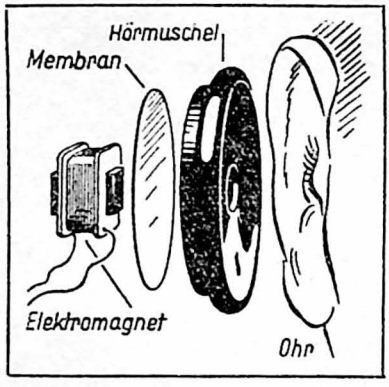
An Stelle des vorher im Bilde zur Veranschaulichung der Anziehungskraft benutzten eisernen Wägelchens wird eine dünne eiserne Membrane in geringem Abstand von einem der „Pole" des Elektromagneten befestigt. Der provisorisch auf den Stab aufgewickelte Draht wird durch eine sauber hergestellte Spule mit vielen Windungen ersetzt.



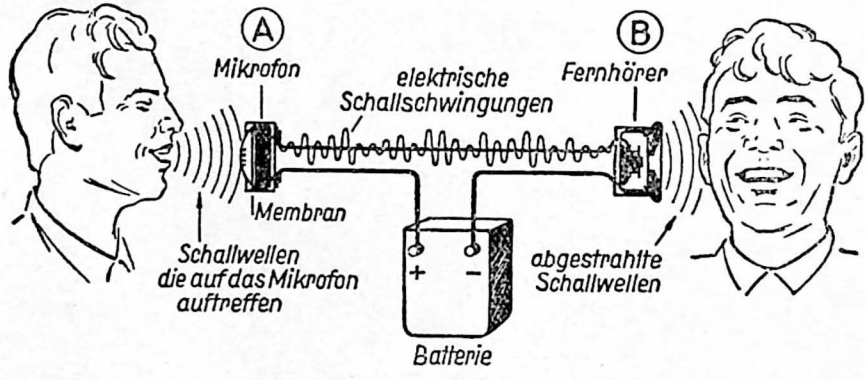
Wird Strom durch die Spule geschickt, dann wird die Membrane vom Elektromagneten angezogen. Da ihr Rand festliegt, biegt sie sich, zum Eisenkern hin, durch. Sie kehrt in ihre normale Lage zurück, wenn der Stromfluß unterbrochen wird.



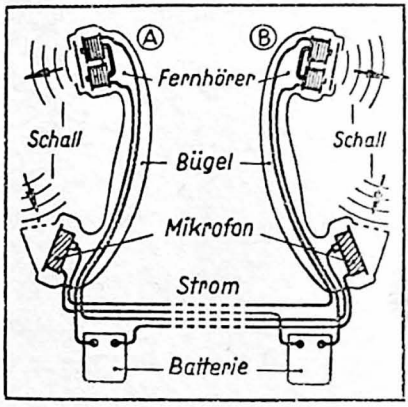
Wird die Spule — wie vorher angedeutet — statt des Meßinstrumentes in den Mikrofonstromkreis geschaltet, so wird sie von den Mikrofonströmen durchflossen, deren Stärke im Rhythmus der Schallwellen schwankt. Die Membrane, im gleichen Rhythmus stärker oder schwächer angezogen, teilt ihre Schwingungen der umgebenden Luft mit, es entstehen hörbare Schallwellen, die den vor dem Mikrofon abgegebenen entsprechen.



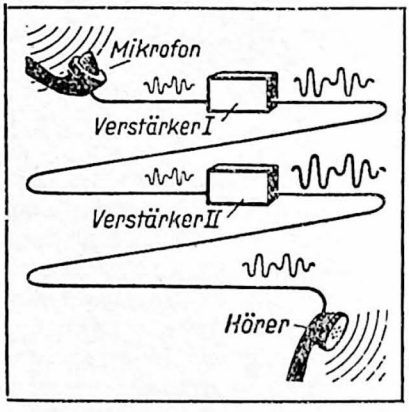
In der Praxis ist der Elektromagnet des Wiedergabeinstrumentes nur klein; die Membrane ist durch eine Hartgummimuschel geschützt.



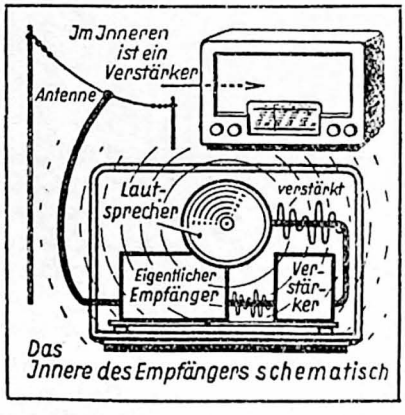
In einfacher Darstellung sieht die Schaltung einer (einseitigen) Fernsprechanlage so aus wie im Bilde skizziert. Die Schallwellen bei A werden über das Mikrofon in elektrische Stromschwankungen umgewandelt, die über die Drahtleitungen zum „Hörer" (Wiedergabeinstrument) bei B gelangen, wo wieder Schallwellen entstehen.



Beim gewöhnlichen Fernsprecher sind in den Handapparaten je ein Mikrofon und ein Fernhörer untergebracht, so daß man auf beiden Seiten — bei A und bei B — sprechen als auch hören kann. Über den Aufbau von Mikrofonen und ihre Wirkungsweise wird in einem folgenden Kapitel Eingehenderes mitgeteilt.

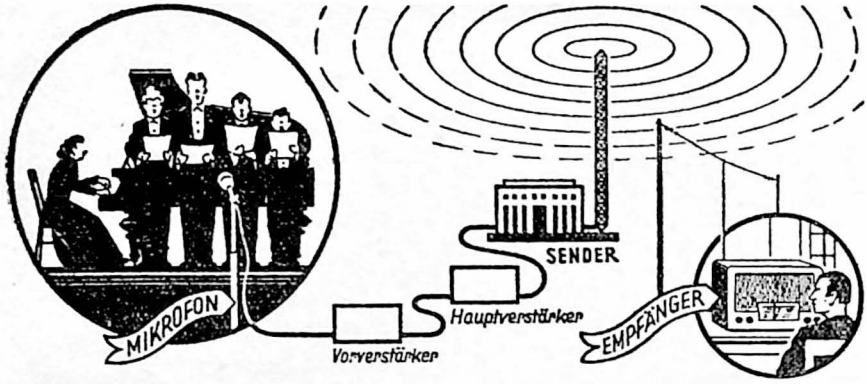


Wenn Gespräche über große Entfernungen geführt werden, so werden die an und für sich schon schwachen Stromschwankungen auf ihrem weiten Wege noch mehr geschwächt. Man muß also auf der Strecke dafür sorgen, daß sie von Zeit zu Zeit gestärkt werden. Die dazu benutzten Einrichtungen werden „Verstärker" genannt.

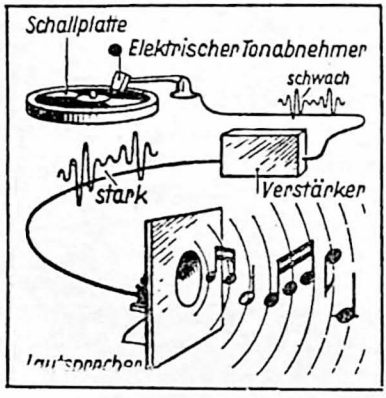


Das Innere des Empfängers schematisch

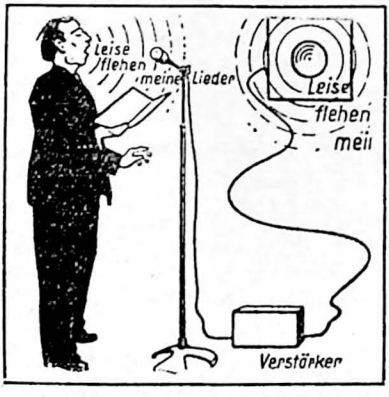
Verstärker werden keineswegs nur im Fernsprechverkehr benutzt. So enthält jeder mit einem Lautsprecher verbundene Rundfunkempfänger einen Verstärker. Die aufgenommenen Wellen sind sehr schwach und die in elektrischer Form mitgebrachten Schallschwingungen bedürfen sehr der Stärkung (Verstärkung), bevor sie dem Wiedergabeinstrument, dem Lautsprecher, zugeführt werden können.



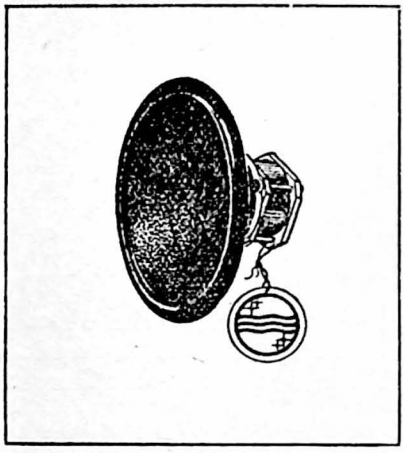
An den Rundfunksendern werden Verstärker in großer Zahl benutzt. Wie gesagt, sind die Mikrofonstromschwankungen sehr schwach, daher werden sie zunächst in einem (Vor-)Verstärker gekräftigt, in weiteren Verstärkern erneut aufgepäppelt, um dann erst den von der Antenne ausgestrahlten Sendewellen auf die Ätherreise mitgegeben zu werden.



Tonabnehmer, wie man sie zur elektrischen Wiedergabe von Schallplatten benutzt, liefern ebenfalls nur ganz schwache Stromschwankungen, deren Rhythmus den auf der Platte eingravierten Schallschwingungen entspricht. Ohne einen Verstärker käme man bei Lautsprecherwiedergabe überhaupt nicht aus.



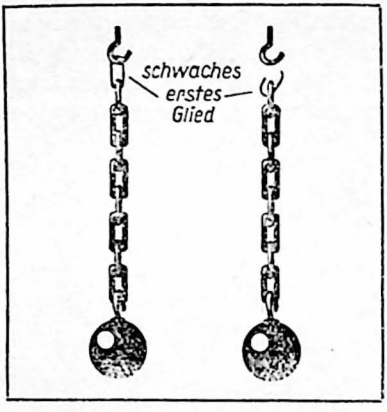
Das Mikrofon am Rednerpult ist stets mit Verstärkern verbunden, welche die erforderlichen kräftigen Stromschwankungen, z. B. dem Lautsprecher im Saal, abzugeben vermögen.
Über große und kleine Verstärker sagt ein späterer Abschnitt Näheres aus.



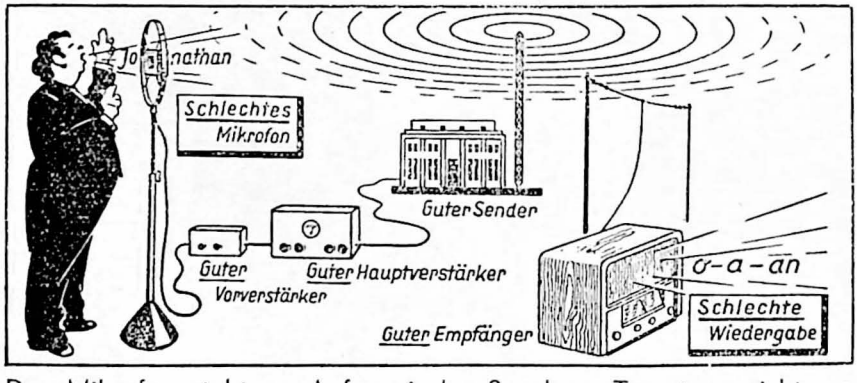
Ein paar Worte noch über die Lautsprecher. Es sind im Grunde genommen „Hörer", wie jene der Fernsprechanlagen, nur daß sie wesentlich kräftiger sind. Durch besondere Konstruktionen haben die Techniker eine immer bessere Wiedergabegüte erreichen können. Die Aufgabe der Wiedergabegeräte aber ist immer dieselbe: Umwandlung unhörbarer elektrischer Stromschwankungen in vernehmbare Schallschwingungen. Weiter unten mehr über Lautsprecher und Lautsprechertypen.

B) MIKROFONE

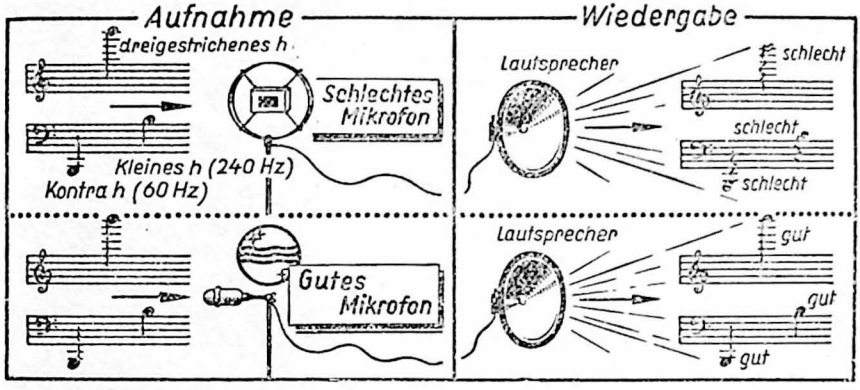
Das Aufgabengebiet der Mikrofone wurde bereits umrissen: Mikrofone sind elektrische Ohren.



Je besser sie „hören", je besser und je unverfälschter sie Schall aufzunehmen vermögen, um so wertvoller sind sie. Sie sind das erste Glied in einer manchmal sehr langen Kette; es muß also besonders gut sein. Ist das erste Glied schlecht, dann ist es einerlei, ob die übrigen Glieder höchster Qualität sind.

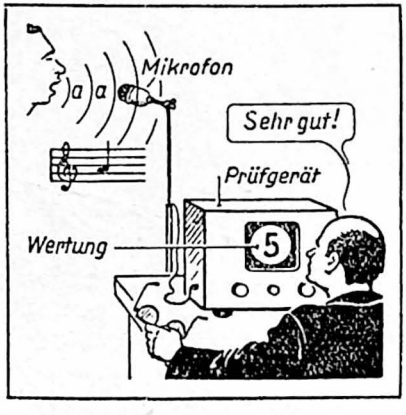


Das Mikrofon steht am Anfang jeder Sendung. Taugt es nichts, so können die folgenden Verstärker, der Sender mit seinen Röhren, der Empfänger mit seinem Lautsprecher noch so gut sein: das Ergebnis ist unbefriedigend.



Eine der ersten Forderungen, die an das gute Mikrofon gestellt werden muß, ist ein guter „Frequenzgang". Das heißt nicht mehr und nicht weniger, als daß jeder vor dem Mikrofon abgegebene Ton, ob hoch oder niedrig (mit allen Neben- und Obertönen), gleichgut verarbeitet werden muß. Der Ton h mit rund 60 Schwingungen in der Sekunde (60 Hertz), das Kontra-h, muß ebenso gut aufgenommen und in elektrische Schwingungen übertragen werden wie z. B. das zwei Oktaven höher liegende (kleine) h mit rund 240 Hertz, oder das drei weitere Oktaven höher liegende (dreigestrichene) h mit rund 1975 Schwingungen in der Sekunde.

Die in jedem Fall noch viel schneller mitschwingenden Obertöne dürfen ebenfalls nicht vernachlässigt werden, wenn der Klangcharakter bei der späteren Wiedergabe erhalten bleiben soll.

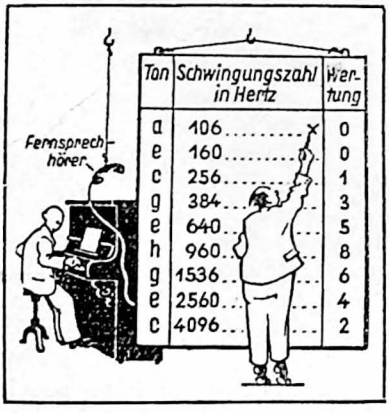


Stellen wir uns eine Prüfeinrichtung vor, welche die Arbeit des Mikrofons bei der Aufnahme aller Töne der Tonleiter mit Werten von 0 bis 8 beurteilen könnte.

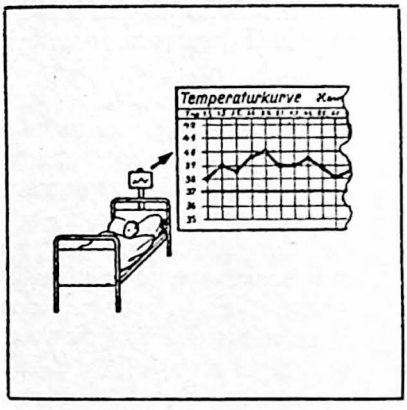
Wertung	Bedeutung
0	unhörbar
1	viel zu schwach
2	zu schwach
3	eben ausreichend
4	gut
5	sehr gut (originalgetreu)
6	etwas zu stark
7	zu stark
8	viel zu stark

Die Wertungen sind in nebenstehender Tabelle zusammengefaßt und entsprechen einer bestimmten Verarbeitungsgüte, wobei Wert 5 soviel bedeutet wie „Originalgetreu verarbeitet", während die niedrigeren Zahlen auf zu schwache, die höheren auf eine Verfälschung nach „zu stark" hindeuten.

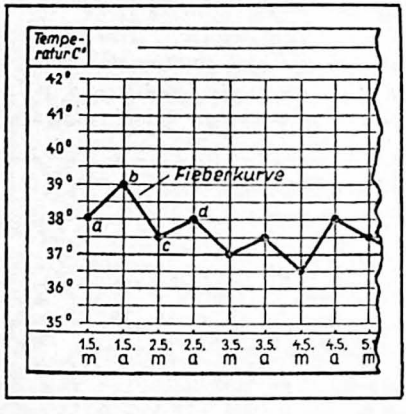
Jetzt setzt sich jemand an ein Klavier und spielt sämtliche Klaviertöne, vom tiefsten bis zum höchsten der Reihe nach mit gleicher Lautstärke herunter. Bei jedem Ton zeigt das Prüfgerät die Verarbeitungsgüte des mit ihm verbundenen Mikrofons an.



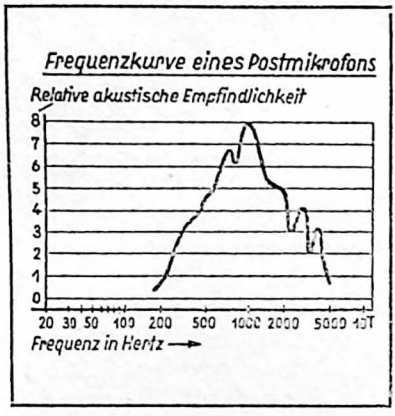
Zuerst wird ein „Postmikrofon", wie es in den Fernsprechern enthalten ist, angeschlossen. Dabei ergibt sich (auszugsweise) die im Bilde angegebene Wertungsreihe.



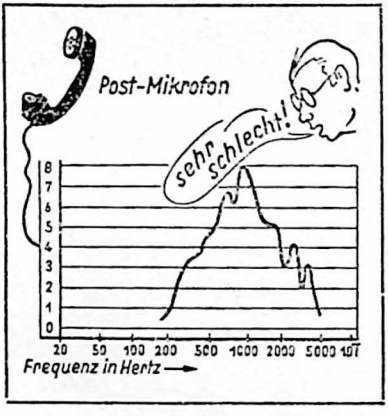
Die Tabelle gibt uns bereits interessante Aufschlüsse über die Güte des untersuchten Mikrofons. Das Bild wird aber auf den ersten Blick deutlicher, wenn man die Wertung in eine „graphische Darstellung" überträgt. Was versteht man unter einer solchen Darstellung? Die Antwort ist leicht gegeben, denn jeder kennt solche Schaubilder, z. B. als Fieberkurven.



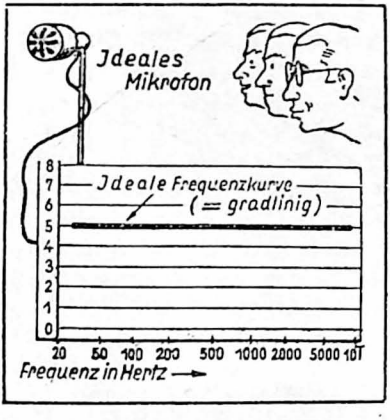
Auf einer unteren Waagerechten der Fiebertabelle sind die Meßzeiten in fortlaufender Reihenfolge vermerkt. In einer Senkrechten (links) die Temperaturgrade. Hat jemand am 1. 5. morgens 38° Fieber, so trägt man senkrecht über dem angegebenen Datum einen Punkt a bei 38° ein. Abends ist das Fieber auf 39° gestiegen und man trägt einen entsprechenden Punkt b ein. Am Morgen des folgenden Tages, am 2. 5., ist das Fieber auf 37,5° gesunken: Eintragung eines Punktes bei c. Abends ist wieder ein kleiner Anstieg auf 38° zu vermerken (d) usw. Die Punkte werden durch Linien verbunden, so daß eine „Fieberkurve" entsteht, die den Arzt auf einen Blick den Verlauf des Fiebers erkennen läßt. (In Wirklichkeit sind in den Tabellen noch zehntel Teilgrade angegeben.)



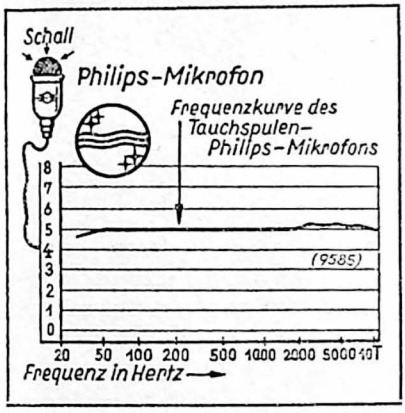
Auf ganz ähnliche Weise stellen wir uns die Frequenzkurve des mit dem Prüfgerät kontrollierten Mikrofons her. Unten in der Darstellung sind die Frequenzwerte eingetragen, auf der linken Senkrechten die den Tonfrequenzen entsprechenden Wertungen. –
Zu jeder der Tonhöhe entsprechenden Frequenz wird ein Punkt eingetragen, laut Anzeige des Prüfgerätes, z. B. bei 640 Hertz mit 5 (der Anzeige des Prüfgerätes), bei 960 Hertz mit 8 usw. Die eingetragenen Punkte werden miteinander verbunden, und die Frequenzkurve ist fertig.



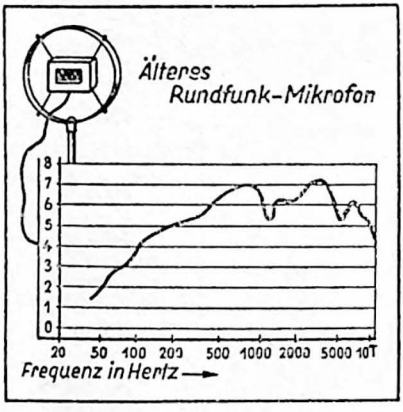
Sofort erkennt man, daß die Frequenzkurve des Postmikrofons gar nicht gut ist. Die tiefen Töne werden ebensowenig aufgenommen und verarbeitet wie die höheren Töne und die Obertöne. Nur im mittleren Tonbereich arbeitet das Mikrofon einigermaßen zufriedenstellend.



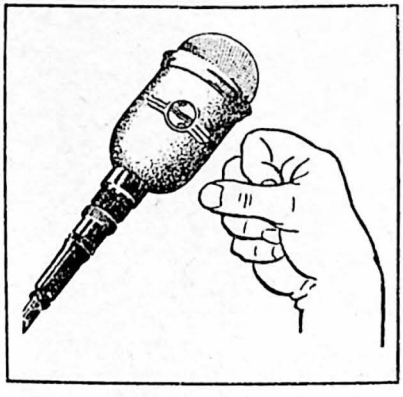
Aus dem Voraufgegangenen geht hervor, daß eine i d e a l e Frequenzkurve geradlinig verlaufen muß. Dann nämlich sagt sie aus, daß sämtliche Töne gleichmäßig gut vom Mikrofon aufgenommen und verarbeitet werden.



Völlig ideale Zustände aber gibt es nirgends auf Erden, auch nicht in bezug auf Mikrofone. Aber fast ideale Verhältnisse haben die Philips-Techniker für die von ihnen entworfenen Mikrofone zu schaffen vermocht. Die Frequenzkurve z. B. des Philips-„Tauchspulen"-Mikrofons ist fast ideal, da sie fast geradlinig ist. – Die Elektroakustiker haben ihre eigenen Wertungsmaßstäbe, statt unserer Zensuren mit den Zahlen 0 – 8 verwenden sie die Meßgröße „Dezibel" (abgek. dB), auf deren Entstehung im Anhang eingegangen ist.

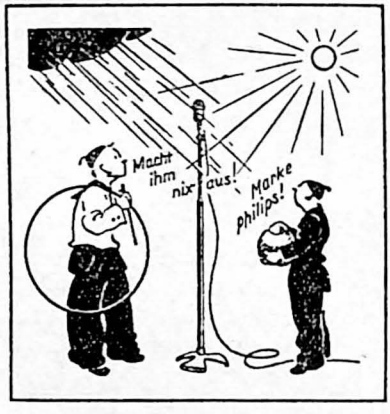


Sehen wir uns die Kurve eines der älteren Mikrofone, wie sie in den Anfängen des Rundfunks im Sendebetrieb verwendet wurden, an. Wir sehen: sie ist wohl besser als die des Postmikrofons, aber keineswegs befriedigend.



Äußerlich sieht das Philips-Mikrofon so aus wie hier im Bilde. Es ist etwa so groß wie eine Männerfaust. — Mikrofone können im Betriebe nicht immer mit Glacéhandschuhen angefaßt werden, wie es ihr empfindliches Innere im allgemeinen verlangt. Sie müssen schon einen Stoß vertragen können. Die Philips-Mikrofone haben zwar ein empfindliches „Innenleben", sind aber trotzdem robust.

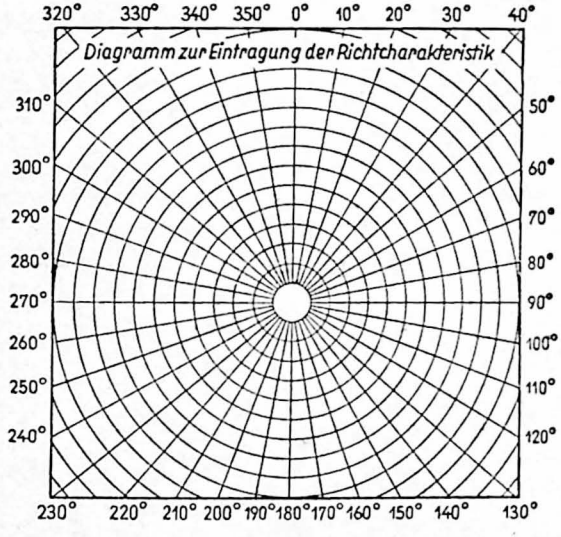
Ältere Mikrofone waren keineswegs gegen Witterungseinflüsse gefeit. Im Freien benutzt, mußten sie besonders geschützt werden und liefen trotzdem Gefahr, Schaden zu nehmen.



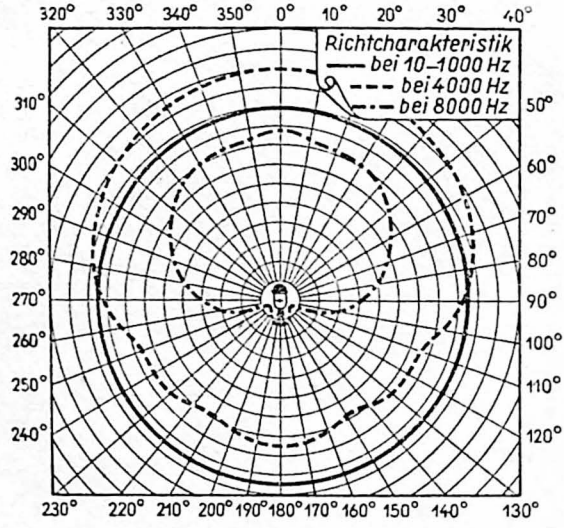
Das Philips-Mikrofon ist „wetterbeständig" und kann der Reportage im Freien ebensogut dienen wie der Musikübertragung im Konzertsaal.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt für die Beurteilung der Güte eines Mikrofons ist seine Aufnahmefähigkeit aus allen Richtungen: Es muß möglichst gut und gleichmäßig nach allen Richtungen hin „hören", d. h. den Schall, einerlei woher er kommt, gut aufnehmen können.

Die Techniker bedienen sich hier wieder einer besonderen Ausdrucksweise und sprechen von der „Richtcharakteristik" des Mikrofons. Sie ist für das erwähnte Philips-Mikrofon-Modell für alle Töne mit Frequenzen zwischen 50 und 1000 Hertz kugelförmig.



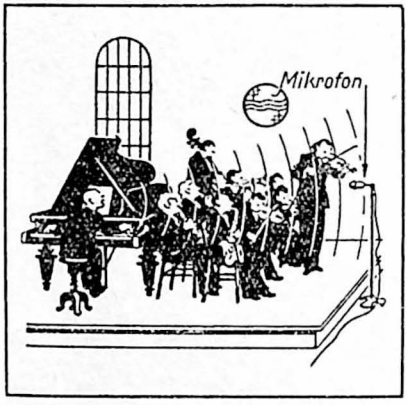
Bei höheren Tonfrequenzen treten Verschiebungen und Einbeulungen der kugelförmigen Richtcharakteristik auf, welche die Laboratoriumsleute in besonders vorbereitete Diagramme eintragen.



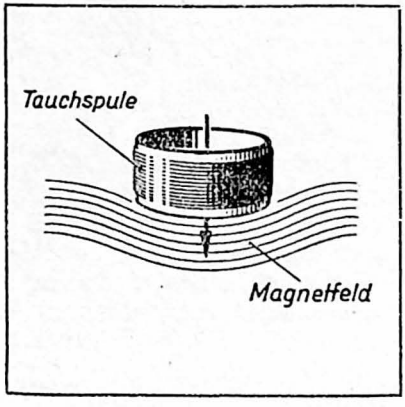
Die Zeichnung läßt erkennen, wie das Mikrofon z. B. bei den Frequenzen 4000 Hertz und 8000 Hertz „hört". Der stark ausgezogene Kreis gilt für Frequenzen zwischen 100 und 1000 Hz.

Nicht alle Mikrofone haben solche guten Eigenschaften, wie die soeben erwähnten. Ihre Richtcharakteristik läßt eben zu wünschen übrig. —

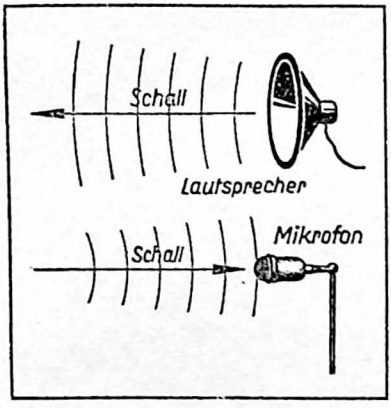
Tanzkapellen haben oft ein stimmbegabtes Mitglied unter ihren Leuten, dem es obliegt, hie und da den Refrain zu singen. Bisher mußte der Betreffende nahe an das Mikrofon treten, damit seine Stimme durchdrang.



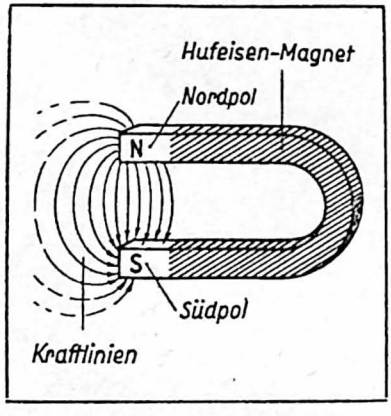
Das ist bei dem Philips-Tauchspulen-Mikrofon nicht mehr nötig. Aus dem ganzen Schallumfang schält sich der Gesang deutlich heraus: Ein Herantreten an das Mikrofon (oder sein Heranrücken) ist nicht mehr nötig.



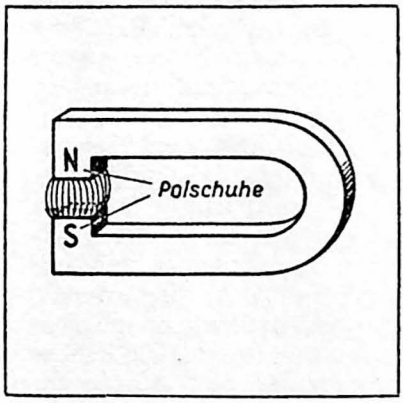
Aber nun wollen wir wissen, was ein „Tauchspulen"-Mikrofon ist. Der Name rührt daher, daß eine kleine Spule, mit mehreren Windungen Drahtes in ein „Magnetfeld" ein t a u c h t.



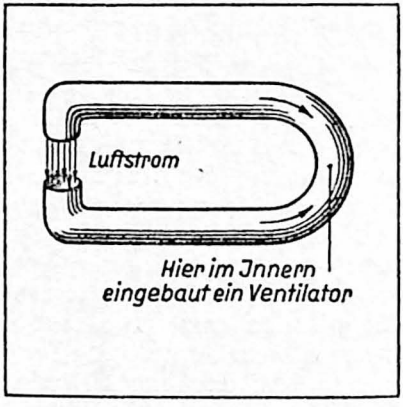
Ein Tauchspulen-Mikrofon ist die Umkehrung von einem Tauchspulen-Lautsprecher, der jedoch auf einen anderen Namen hört: man nennt ihn allgemein „dynamischen Lautsprecher". - Der Lautsprecher erhält elektrischen Strom zugeführt und gibt entsprechend den Stromschwankungen Schallwellen ab. Das Tauchspulen-Mikrofon nimmt Schallschwingungen auf und gibt entsprechende Wechselströme in die angeschlossenen Leitungen ab. Man kann nebenbei gesagt, einen Lautsprecher — in anderer Weise angeschaltet — auch als Mikrofon verwenden.



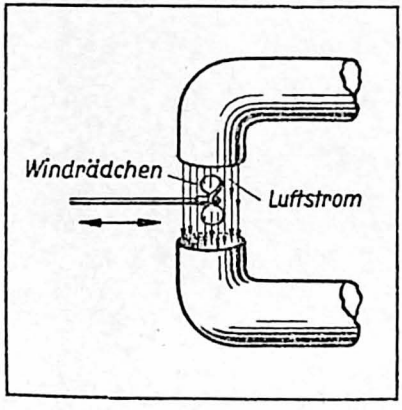
Einige kurze physikalische Erläuterungen zum Tauchspulen-Mikrofon werden unseren Lesern willkommen sein. — Zwischen den zwei „Polen" eines Magneten steht ein unsichtbares (aber nachweisbares) „Kräftefeld". Es besteht aus „Kraftlinien", die vom Nordpol zum Südpol streben.



Man kann die Kraftlinien besser zusammenfassen, mehr bündeln, wenn man die Pole des Magneten mit „Polschuhen" versieht.

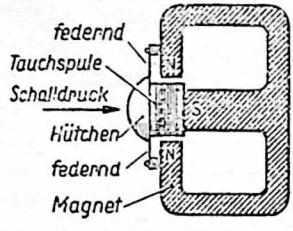


In einem Vergleich kann man sich vorstellen, daß das Innere des Hufeisenmagneten hohl ist und in dem Bogen in der Mitte ein kleiner Ventilator angebracht ist, der einen Luftstrom hervorruft. Auf der einen Seite saugt er Luft an, auf der anderen stößt er Luft ab; so entsteht ein Kreislauf, der sich über die freie Strecke zwischen N und S schließt.



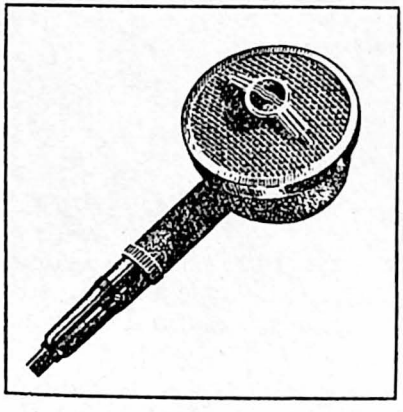
Weiter kann man sich vorstellen, daß man ein kleines Windrädchen in den offenen Luftstrom (zwischen N und S) bringt. Das Rädchen beginnt sich zu drehen. Es dreht sich um so schneller, je tiefer es in den Luftstrom eintaucht; es hört auf sich zu bewegen, wenn es aus dem Luftstrom herausgezogen wird.

Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Magneten, in dessen Feld man eine kleine Spule mit einigen Windungen Drahtes eintauchen kann, wobei man dem Magneten eine Form wie im Bilde geben muß. In der Spule entsteht ein Strom, der um so kräftiger wird, je tiefer die Spule in das Kraftlinienfeld gedrückt wird. Ein angeschlossenes Meßinstrument könnte das erkennen lassen. Die Hin- und Herbewegung der Spule kann durch auftreffende Schallwellen hervorgerufen werden. Um die Schallschwingungen besser aufnehmen zu können, wird die Spule mit einem kleinen Hütchen versehen. Auf die oben geschilderte Weise werden die Schallschwingungen, die das Mikrofon treffen, in entsprechende Stromschwankungen umgewandelt. In der angeschlossenen Leitung fließt ein tonfrequenter Strom. Die Tauchspule bewegt sich in einem engen „Luftspalt" hin und her, wenn der Schall das auf ihr sitzende Hütchen trifft. In dem engen Zwischenraum ist das magnetische Feld mithin besonders wirksam.

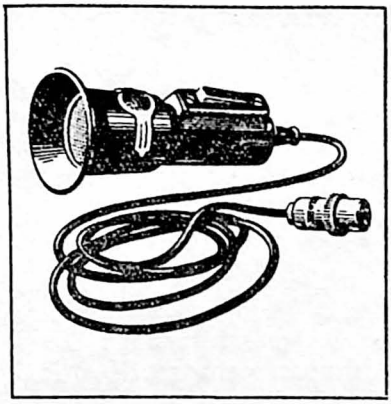


Schema eines Tauchspulen-Mikrofons

Ein solches System ist in dem PHILIPS - Tauchspulen - Mikrofon unter einem schützenden Drahtgeflecht untergebracht. (Das Hütchen weist zum Drahtgeflecht hin.)



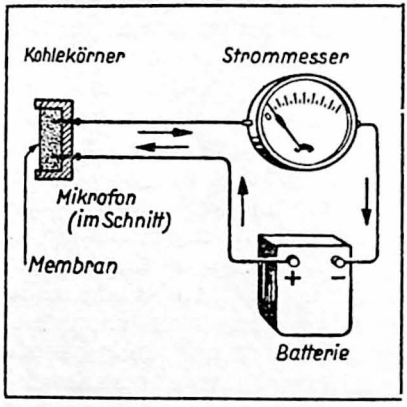
Ein ähnliches, aber seitlich gerichtetes System befindet sich in einer anderen, billigeren, aber ebensostabilen Philips-Ausführung. Dieses Mikrofon soll grundsätzlich von vorne besprochen werden. Es dient vor allem der Übertragung von Sprache, da bei seiner Konstruktion auf gute Verarbeitung der hohen Frequenzen Wert gelegt wurde. Die höheren Tonfrequenzen sind nämlich für die Silbenverständlichkeit von besonderer Bedeutung. Dieser Mikrofontyp eignet sich jedoch nicht minder für Musikübertragungen.



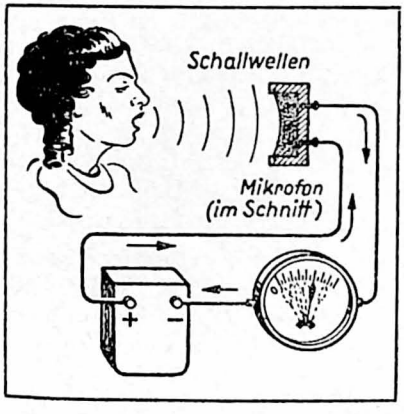
Eine dritte Ausführungsform, das Philips-Handmikrofon, wurde besonders für transportable oder fahrbare Anlagen entwickelt.

Wie sein Name andeutet, wird es beim Besprechen in der Hand gehalten. Es dient wie das Vorerwähnte insbesondere zur Übermittlung von Sprache. Es hat den Vorteil, daß selbst bei starkem Umgebungslärm die Stimme des Sprechers deutlich und klar hervortritt.

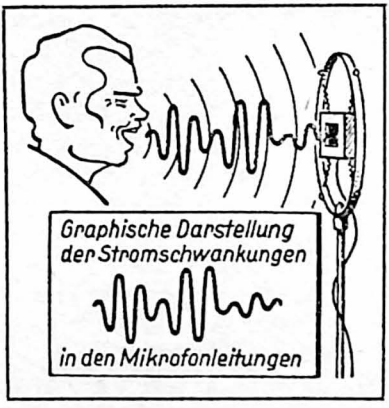
Hier noch der Vollständigkeit halber ein Hinweis auf weitere Mikrofonarten, denn neben den Tauchspulen-Mikrofonen, die man auch „dynamische" Mikrofone nennt, gibt es die auf anderer Wirkungsweise beruhenden Kohle-Mikrofone, Kondensator-Mikrofone und Kristall-Mikrofone.



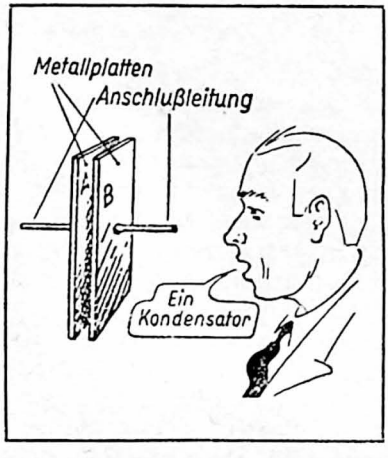
Die ältesten unter ihnen sind die Kohle-Mikrofone. Ihre Wirkungsweise ist schnell erklärt. Sie bestehen im Prinzip aus einem mit Kohlekörnchen gefüllten Gehäuse, über das abschließend eine dünne Membran gespannt ist. Zwei Kontaktstifte ragen in die Kohlenfüllung hinein, sie sind mit einer Batterie verbunden. Zu Versuchszwecken ist ein Meßinstrument in den Stromkreis geschaltet. Die Kohlekörnchen setzen dem Stromfluß einen gewissen Widerstand entgegen, daher schlägt das stromanzeigende Instrument nur schwach aus: es kann nur ein schwacher Strom durch den Kreis fließen.



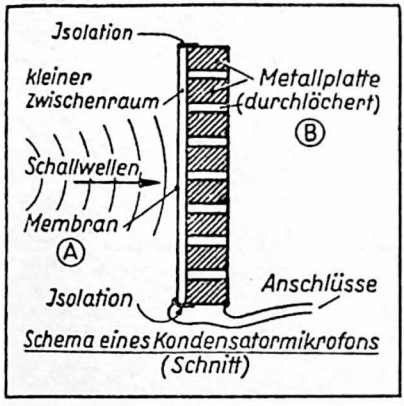
Wird das Mikrofon besprochen, wobei Schallwellen die Membran treffen, so werden die Kohlekörnchen im Rhythmus der Schallfrequenzen zusammengedrückt (die Membran teilt den Kohlekörnchen den wechselnden Schalldruck mit). Das Zusammenpressen der Kohlekörnchen verringert ihren elektrischen Widerstand, so daß bei starkem Schalldruck ein stärkerer Strom fließt als bei schwachem Druck.



Die Schallfrequenzen werden also in Stromschwankungen umgesetzt, die ihr Abbild sind. Um die Mikrofone vor Erschütterungen zu schützen, die das Bild verzerren könnten, wurden die hochwertigen Modelle früher in einem schweren Marmorblock, der federnd aufgehängt war, eingebaut. Vorzüge der Kohle-Mikrofone: einfach und billig. Nachteile: schlechter Frequenzgang und ein ständiges, insbesondere bei leiser Wiedergabe hervortretendes Rauschen. Für den Betrieb ist eine besondere Batterie zur Stromversorgung nötig.



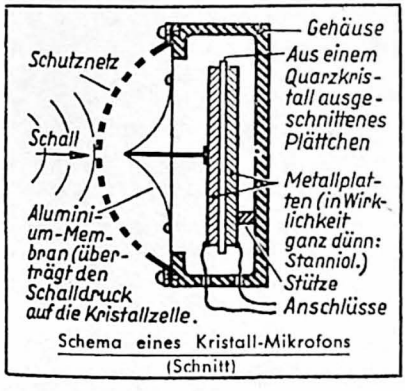
Die Kondensator-Mikrofone arbeiten nach einem ganz anderen Prinzip. Ihr Name deutet an, daß ein „Kondensator" ihr wichtigster Bestandteil ist. In der Elektrotechnik versteht man unter einem „Kondensator" ein Gebilde aus zwei sich nahe gegenüberstehenden metallischen Platten (A und B), die sich nicht berühren. Die elektrischen Größenverhältnisse — die Kapazität — eines Kondensators ändern sich u. a., wenn der Abstand der Platten voneinander größer oder kleiner wird.



Schema eines Kondensatormikrofons (Schnitt)

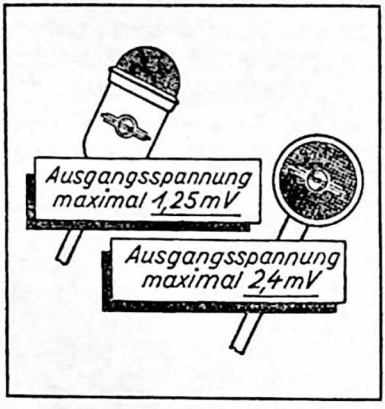
Wird ein Kondensator in einen elektrischen Stromkreis geeignet eingeschaltet, so ruft er in den angeschlossenen Leitungen Spannungsschwankungen hervor, wenn der Abstand seiner Platten Schwankungen unterworfen ist. Im Kondensator-Mikrofon steht einer festen, aus bestimmten Gründen durchlöcherten Metallplatte (B) eine dünne metallische Membran (A) gegenüber, die bei auftreffenden Schallwellen in Schwingungen gerät. Im angeschlossenen Stromkreis bilden sich die Schallschwingungen in Gestalt von Spannungsschwankungen ab. Das Schemabild zeigt ein Kondensator-Mikrofon im Schnitt. Vorteile der Kondensator-Mikrofone: gute Frequenzkurve, hochwertige Wiedergabe. Nachteile: schwierige Herstellung, große Vorverstärkung der erzeugten Stomschwankungen erforderlich, da diese nur sehr klein sind, daher wird ein besonderer Vorverstärker benötigt. Große mechanische Empfindlichkeit, verhältnismäßig große Abmessungen (Flaschen). Hoher Preis gegenüber Tauchspulen-Mikrofonen.

Die Kristall-Mikrofone beruhen auf dem sogenannten „piëzoelektrischen Effekt": ein zwischen zwei Metallplatten eingeklemmter Quarzkristall gibt elektrische Spannung ab, wenn ein Druck auf ihn ausgeübt wird. Daraus ergibt sich die Verwendungsmöglichkeit für Mikrofone, bei denen der Schall in schneller Folge einmal mit einem schwächeren, einmal mit einem stärkeren Druck auf ein Kristallplättchen wirkt. Die „Kristallzelle" ist sehr dünn, sie besteht nur aus dem beiderseitig mit Stanniol beklebten Kristallplättchen. Vorteile der Kristall-Mikrofone: Gerade Frequenzkurve. Nachteil: empfindlich gegen äußere Einflüsse, große Wärmeempfindlichkeit und geringe Spannungsabgabe.

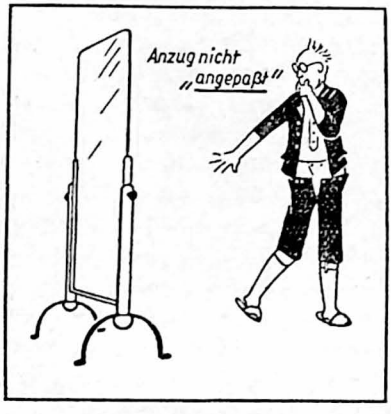


Schema eines Kristall-Mikrofons (Schnitt)

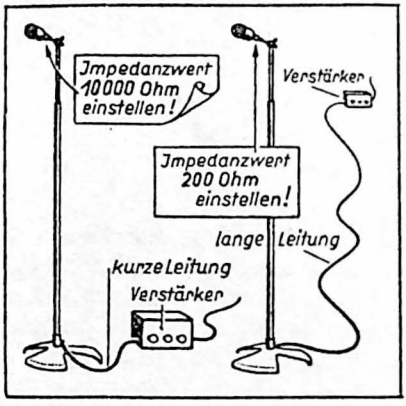
Zwei Angaben, die man im Zusammenhang mit Mikrofonen liest, und die noch nicht erklärt wurden, bedürfen einer kurzen Erläuterung, die „Ausgangsspannung" und die „Impedanz".



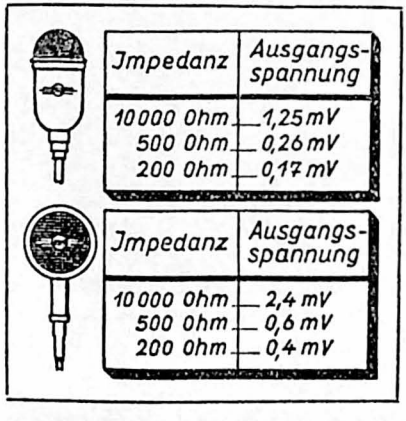
Unter der Ausgangsspannung versteht man die elektrische Spannung, die sich an den Klemmen des Mikrofons messen läßt. Sie hat nur ganz geringe Werte und wird daher in tausendstel Volt, d. h. in Millivolt (mV) gemessen. Entsprechende Höchstwerte sind bei den beiden Mikrofonmodellen im Bilde angegeben.



Man kann die Mikrofone nicht ohne weiteres an den nachfolgenden Verstärker anschließen. Er muß u. a. der Leitungslänge und den gegebenen Widerständen angepaßt sein, ebenso wie ein Anzug seinem zukünftigen Besitzer „angepaßt" sein muß, sonst ergeben sich Unzulänglichkeiten.



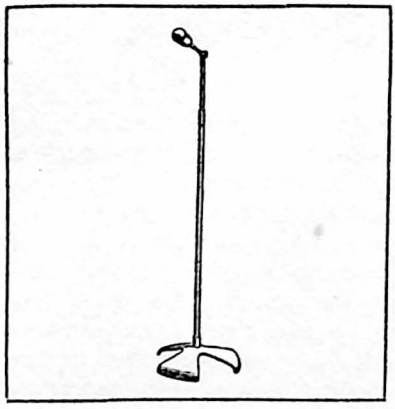
Befindet sich der Verstärker nahe am Mikrofon, so muß man anders vorgehen, als wenn größere Entfernungen zwischen beiden Geräten liegen. Am Philips-Mikrofon ist deshalb eine Einrichtung vorgesehen worden, die eine Anpassung an die jeweils angeschlossene Leitung auf einfachste Weise ermöglicht. Der Wechselstromwiderstand (denn um einen solchen handelt es sich bei den Sprechströmen, die dauernd ihre Richtung ändern) wird von den Technikern „Impedanz" genannt. Drei Möglichkeiten der Anpassung sind vorgesehen, nämlich für Impedanzen von 10000 Ohm, von 500 Ohm und von 200 Ohm. Bei kurzen Leitungen zwischen Mikrofon und Verstärker wird ein großer Impedanzwert (10000 Ohm) eingestellt, bei sehr langen Verbindungsleitungen ein kleiner (z. B. 200 Ohm). Auch bei langen Leitungen treten keine Störspannungen und keine Frequenzbeschneidungen auf.



Impedanz	Ausgangsspannung
10000 Ohm	1,25 mV
500 Ohm	0,26 mV
200 Ohm	0,17 mV

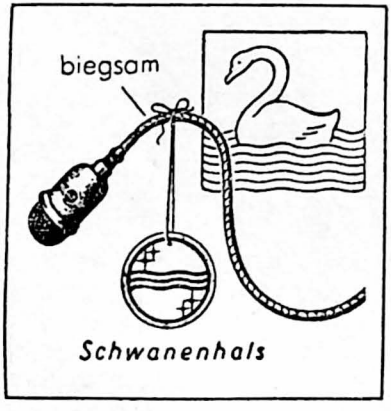
Impedanz	Ausgangsspannung
10000 Ohm	2,4 mV
500 Ohm	0,6 mV
200 Ohm	0,4 mV

Es muß hinzugefügt werden, daß sich die Ausgangsspannung mit dem Impedanzwert erniedrigt. Für zwei der oben beschriebenen Philips-Mikrofone gelten die im Bilde angegebenen Werte.

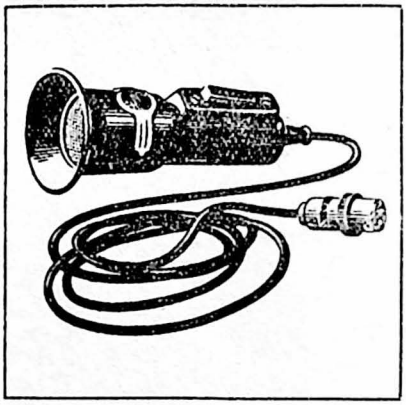


Schließlich: diePhilips-Tauchspulen-Mikrofone sind grundsätzlich für alle Schallübertragungszwecke geeignet. Sie können auf Bodenstativen frei im Raum aufgestellt werden . . .

. . . oder mit einem Untersatz auf dem Regietisch oder dem Schreibtisch Dienste tun.



Ein biegsamer Schwanenhals schließlich gestattet das Einstellen der Mikrofonkapsel in jede gewünschte Richtung.



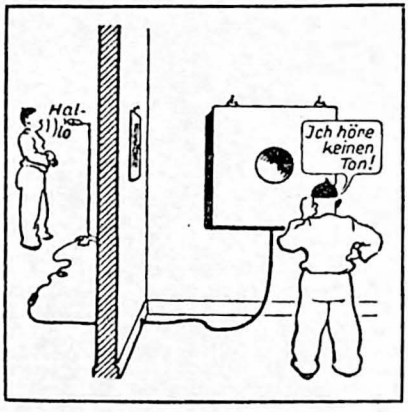
Sehr häufig muß das Mikrofon in unmittelbarer Nähe des Lautsprechers verwandt werden, z. B. in Lautsprecherwagen. Normale Mikrofone haben nun die unangenehme Eigenschaft, sofort akustische Rückkopplung in Form von lautem Heulen und Pfeifen auszulösen, sobald sie in den Schallkegel des Lautsprechers kommen. Philips hat für solche Zwecke ein besonderes Tauchspulen-Handmikrofon entwickelt, bei dem durch verschiedene Kniffe in der Konstruktion besondere Unempfindlichkeit gegen diese unerwünschte Kopplung erreicht wurde.

Außerdem wurde durch ein akustisches Filter eine besonders gute Übertragung der hohen Frequenzen erzielt, so daß dieses Mikrofon für Befehls- und Kommandoanlagen besonders geeignet ist und z. B. im Wagen unterhalb des auf dem Dach angebrachten Lautsprechers betrieben werden kann.

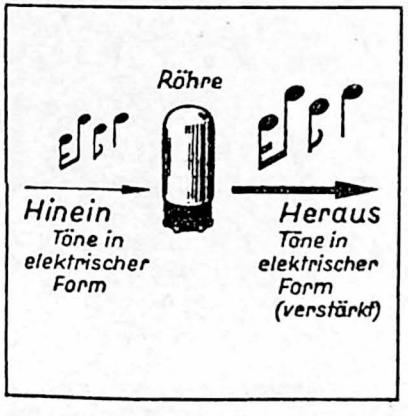
PHILIPS

C) VERSTÄRKER

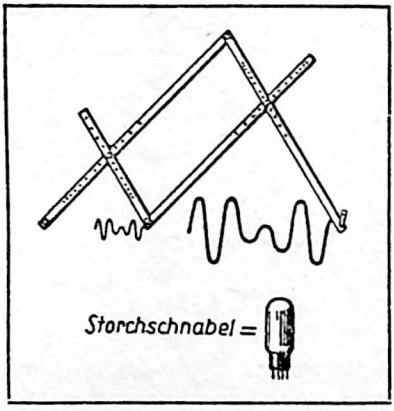
Es wäre wunderschön und einfach, könnte man das Mikrofon direkt mit dem Lautsprecher verbinden.



Gewiß kann man das, aber was dabei herauskommt ist soviel wie nichts. Die vom Mikrofon abgegebenen Spannungen sind zu schwach, um den Lautsprecher ansprechen zu lassen. Es muß also irgendeine Einrichtung getroffen werden, die aus „leise" „laut" macht, oder richtiger: eine Einrichtung, die die schwachen Spannungsschwankungen zu verstärken vermag.

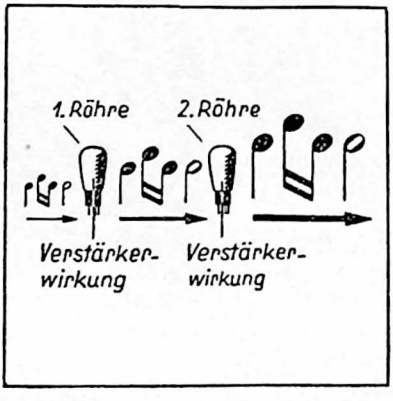


Aus Voraufgegangenem wissen wir, daß diese Aufgabe mit Hilfe von Elektronenröhren gelöst werden kann.

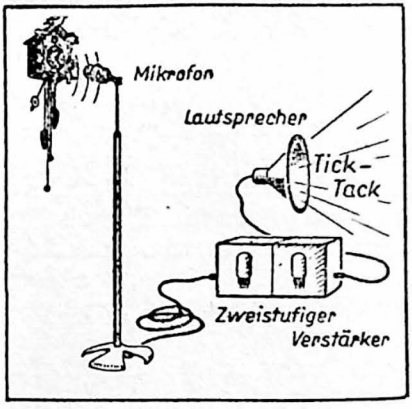


Die geringen Schwankungen der schwachen Mikrofonspannungen werden der Röhre zugeführt. Der stärkere Gleichstrom, der, aus einer besonderen Stromquelle geliefert, im Anodenstromkreis der Röhre fließt, bildet die Schwingungen der Mikrofonspannungen verstärkt nach.

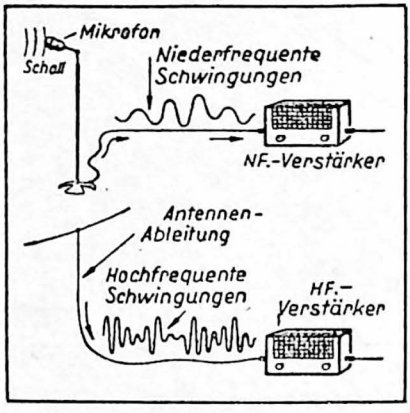
Die Röhre allein genügt allerdings nicht, es gehören weitere Schaltelemente hinzu. Sie werden mit der Röhre zusammen in einem Gehäuse untergebracht, das man zwischen Mikrofon und Wiedergabeinstrument schaltet.



Verwendet man nur e i n e Röhre zur Verstärkung, so ist der Erfolg nicht immer befriedigend. Der Verstärkungsgrad bleibt für die meisten Fälle zu gering. Man nimmt also eine zweite Röhre hinzu, die das, was die erste abgibt, noch mal verstärkt.



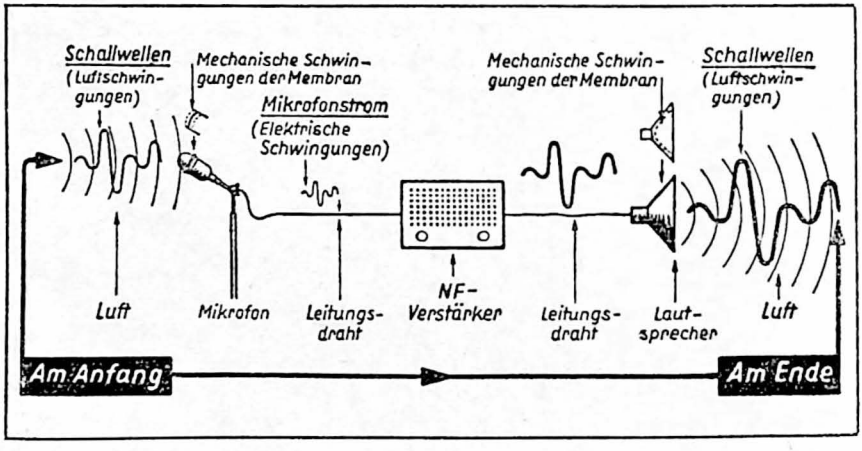
Kommt man beim Arbeiten mit einer Röhre nicht über Kopfhörer-Lautstärke hinaus, so wird es bei einem „zweistufigen" Verstärker möglich, einen Lautsprecher anzuschließen.



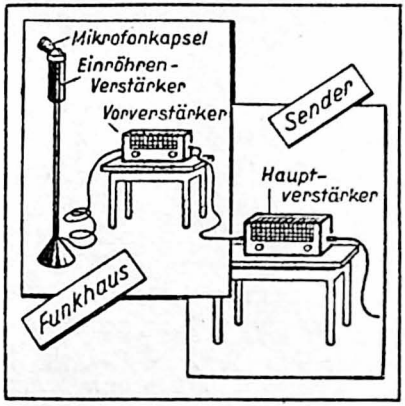
Man nennt die Geräte, welche die Sprech- und Musikströme verstärken, „Niederfrequenzverstärker" oder kurz „NF-Verstärker", im Gegensatz zu den „Hochfrequenzverstärkern" (HF-Verstärker), welche die schnell schwingenden (hochfrequenten) Rundfunkwellen verstärken sollen.

Zu den beiden Begriffen „Hochfrequenz" und „Niederfrequenz" hier der Vergleich mit einem Kino, das entweder eine hohe Besucherfrequenz (Hochfrequenz) . .

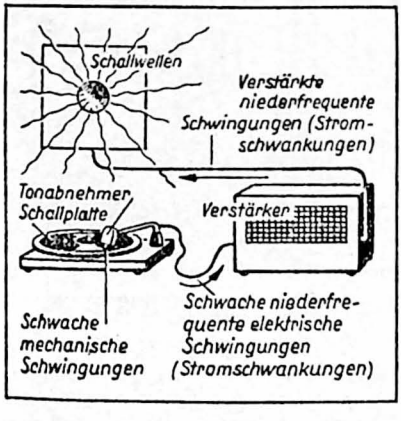
... oder eine niedrige Besucherfrequenz (Niederfrequenz) hat. Niederfrequente Schwingungen umfassen die Schallbereiche, sowohl den hörbaren Schall zwischen 20 und 16000 Hertz als auch die unhörbaren Schwingungen des Infraschalls und des Ultraschalls, einerlei, ob es sich um Luftschwingungen oder solche elektrischer Art handelt.



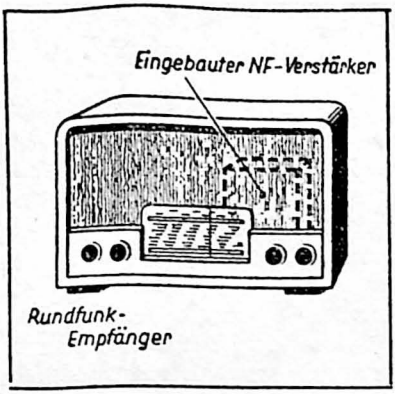
Daraus geht die Aufgabe der „Niederfrequenz"-Verstärker hervor. Sie dienen vor allem der Verstärkung von Schalläußerungen, die vorher in schwingungsgleiche elektrische Ströme umgesetzt wurden (z. B. durch ein Mikrofon, siehe Abschnitt: Mikrofone).



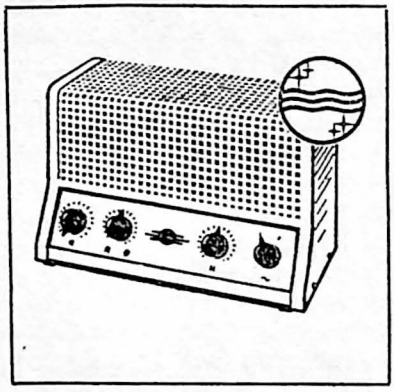
Die Anwendungsgebiete der NF-Verstärker sind mannigfaltiger Art. Von der Notwendigkeit der Verstärkung der vom Mikrofon abgegebenen Spannungen sprachen wir bereits. Ja, es gibt Mikrofone (Kondensator-Mikrofone), die so schwache Spannungsschwankungen liefern, daß diese sofort nach ihrer Erzeugung einer Stärkung bedürfen. Sie erhalten dadurch eine für sie typische Form: unter der Sprechkapsel befindet sich ein zylindrisches Gefäß, das einen Ein-Röhren-Verstärker enthält. Im Gegensatz hierzu benötigen die Philips-Tauchspulenmikrofone keinen besonderen Vorverstärker mit dem dafür erforderlichen Speisegerät. (Siehe auch Abschnitt Mikrofone.) Trotzdem kann man nicht auf eine weitere Verstärkung verzichten und schaltet deshalb einen zweiten, größeren Verstärker in die Leitung. Wenn das Mikrofon weit vom Funkhaus oder weit vom Sender aufgestellt ist, wird ein dritter Verstärker erforderlich. (Vorverstärker u. Hauptverstärker.)



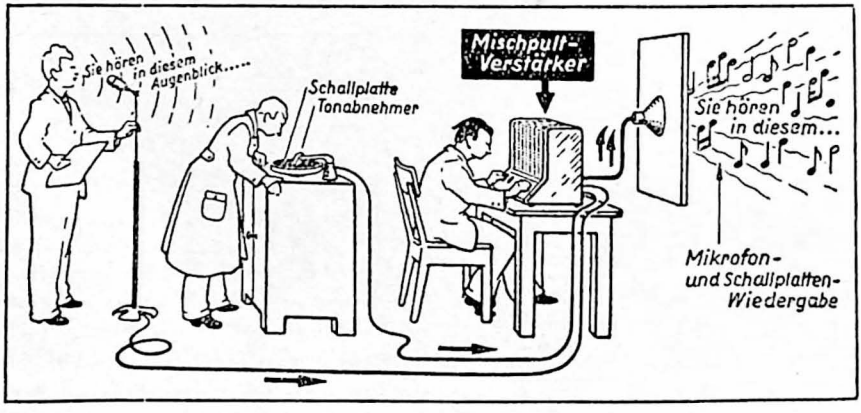
Der elektrische „Tonabnehmer", der zum „Abtasten" von Schallplatten benutzt wird, liefert nur sehr geringe Wechselspannungen (schwache Wechselströme), die kräftiger werden müssen, wenn sie imstande sein sollen, einen Lautsprecher zu betreiben. Auch hier ist ein Verstärker erforderlich.



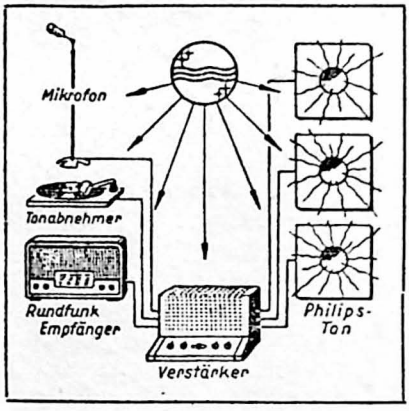
In jedem Empfangsgerät befindet sich ein NF-Verstärker. Hier hat er die Aufgabe, die schwachen, vom eigentlichen Empfangsteil gelieferten niederfrequenten Schwingungen zu vergrößern, damit dem Lautsprecher die erforderliche Energie zugeführt werden kann.



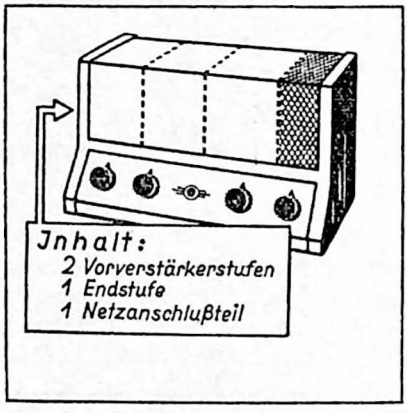
Die Philips-Werke stellen größere NF-Verstärker her, Universalverstärker, die sowohl der Verstärkung von Mikrofon- und Tonabnehmer-Spannungen, als auch der von Rundfunkgeräten abgegebenen „tonfrequenten" Schwingungen dienen.



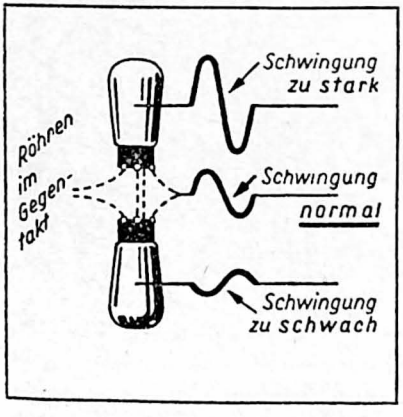
Da gibt es einen „Mischpultverstärker", der so eingerichtet ist, daß er die Mikrofonwiedergabe mit der Schallplatten- oder Rundfunkwiedergabe zu mischen gestattet.



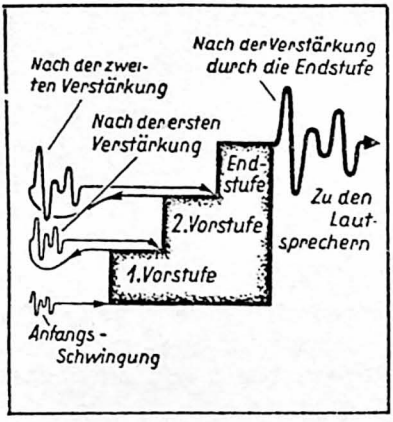
Schematisch würde sich für eine Übertragungsanlage mit einem solchen Verstärker nebenstehendes Bild ergeben.



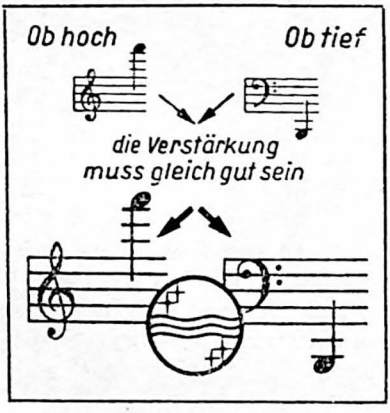
Im Inneren des Verstärkers befinden sich außer dem Netzanschlußteil zwei „Vorverstärkerstufen" mit je einer Röhre und eine sogenannte „Gegentakt-Endstufe" mit zwei Röhren.



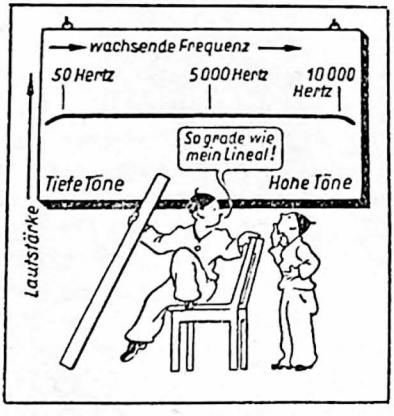
Die Endstufe ist, wie ihr Name angibt, die letzte Verstärkerstufe, deren Ausgang mit einem oder mehreren Lautsprechern verbunden wird. Sie arbeitet im „Gegentakt", d. h. die beiden Röhren dieser einen „Stufe" sind so miteinander verbunden, daß sie ihre Fehler in der Zusammenarbeit wieder gutmachen. Ganz schematisch will das die Zeichnung illustrieren.



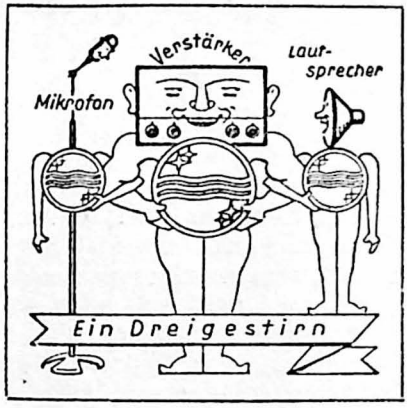
Eine „Endstufe" ist nur der Teil eines „Vollverstärkers". Man kann ein Mikrofon oder einen Tonabnehmer nicht direkt an eine „Endstufe" anschließen, es bedarf der Vorstufen, die für eine Vorverstärkung sorgen und damit die erforderliche Empfindlichkeit schaffen. — Einen Schüler kann man nicht, ohne daß er die Vorstufen hinter sich bekommen hat, auf die höhere Schule schicken, ihn nicht gleich auf die höchste Stufe stellen.



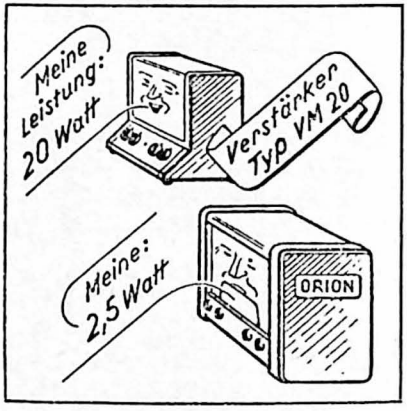
Ein guter Niederfrequenz-Verstärker muß möglichst den ganzen Tonfrequenzbereich (Schallschwingungsbereich) gleich gut verstärken. Das tun die Philips-Verstärker.



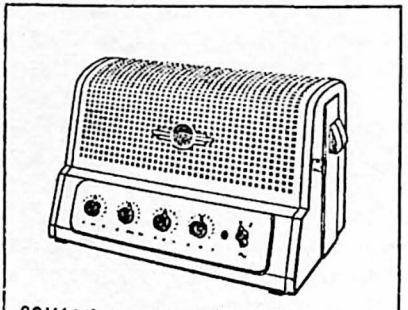
Ihre Frequenzkurve ist zwischen 40 bis 10000 Hertz geradlinig, bei einem Modell schon ab 30 Hertz.



Zum Philips-Verstärker gehört das Philips-Mikrofon und der Philips-Lautsprecher; diese drei vertragen sich am allerbesten miteinander.

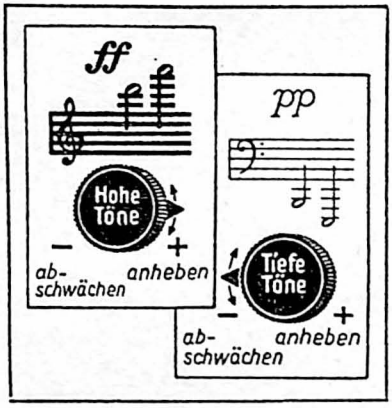


Was der Verstärker herzugeben vermag, wird mit „Ausgangsleistung" bezeichnet. Bei dem VM 20 hat sie einen Wert von 20 Watt. Um einen Maßstab zu geben: die Ausgangsleistung des Philips-Empfängers „Orion" beträgt etwa 2,5 Watt. Die in die stärksten Rundfunkempfänger eingebauten NF-Verstärker leisten nicht mehr als 8 Watt.

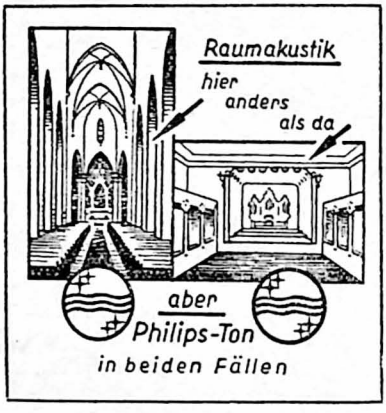


80 W Mischpultverstärker Typ VM 80

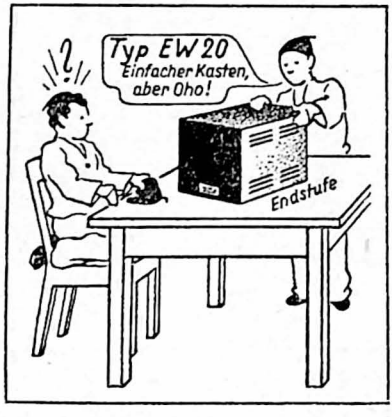
Die Philips-Werke bauen noch wesentlich kräftigere Verstärker als das eben beschriebene Modell, einen solchen mit einer Ausgangsleistung von 80 Watt, ein Gerät höchster Wiedergabequalität, und sogar einen mit einer Leistung von 200 Watt!



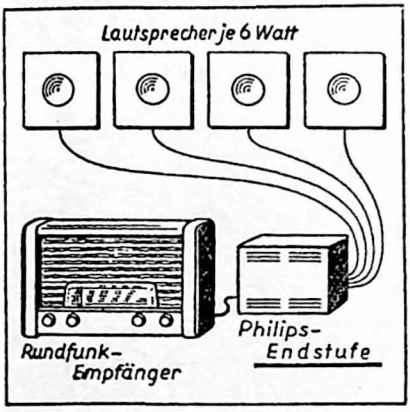
Das 80-Watt-Gerät, an dem sich Anschlüsse für einen Tonabnehmer, ein Rundfunkgerät und zwei Mikrofone befinden, zeichnet sich u. a. dadurch aus, daß es mit zwei Einstellknöpfen versehen ist, die ein Anheben oder Abschwächen der Höhen und Tiefen ermöglichen.



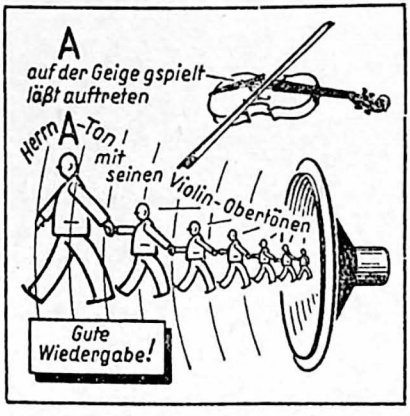
Dadurch läßt sich die Wiedergabe den jeweiligen akustischen Verhältnissen der Räume, die mit Schall versorgt werden sollen, gut anpassen.



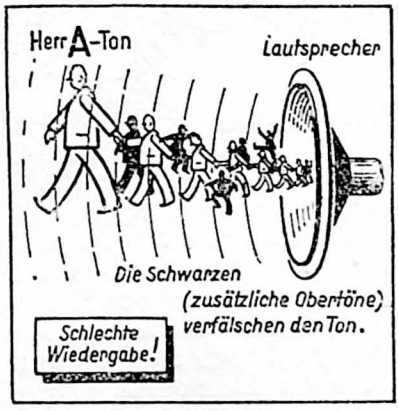
„Endstufen", wie sie jeder Verstärker enthält, werden auch gesondert hergestellt. Sie bestehen aus nur einer Verstärkerstufe, eben der „Endstufe", wenn auch zwei Röhren, die im Gegentakt arbeiten, verwendet werden. Ein solcher Verstärker ist der 20-Watt-Typ EW 20. In jedem Fall aber ist eine „Verstärkung" erforderlich. Sie ist – wie schon gesagt – in jedem normalen Rundfunkempfänger vorhanden. Seine relativ schwache eigene Endstufe wird bei Zuschaltung einer starken gesonderten „Endstufe" zur Vorstufe.



Die „selbständige" — wenigstens äußerlich selbständige — Endstufe wird dort benutzt, wo z. B. die Leistung eines Empfängers nicht ausreicht, um einen starken Lautsprecher oder deren mehrere anzuschließen. Er ist der ideale Zusatzverstärker für Hotels, Schulen, Krankenhäuser usw. Es lassen sich mit ihr bis zu 20 kleinere Lautsprecher betreiben. Sie ist besonders einfach anzuschließen und zeichnet sich durch hervorragende elektro-akustische Eigenschaften aus.

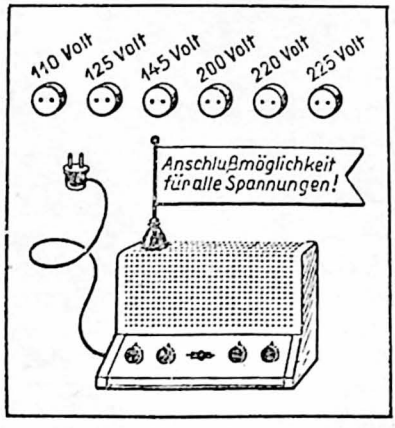


Oft liest man in Verbindung mit NF-Verstärkern das Wort „Klirrfaktor". Was will es besagen? Nun, in einem früheren Abschnitt lasen wir, daß „Obertöne" einem Grundton die Klangfarbe geben, so daß man unterscheiden kann: Violinton, Flötenton, Orgelton usw. Diese Obertöne müssen mit übertragen werden, damit das Klangbild echt ist.



Mischen sich aber unter diese Obertöne weitere unerwünschte Herrschaften, dann wird die Wiedergabe verfälscht. Die Beimischung falscher Töne auf dem Übertragungsweg, d. h. zusätzlicher unerwünschter Schwingungen, muß nach Möglichkeit verhindert werden.

Die Techniker messen den Grad der störenden Beimengungen, indem sie einen größeren oder kleineren „Klirrfaktor" angeben. Sie bewerten ihn meistens in Prozenten. In der Praxis soll er 10 % nicht überschreiten. Bei den Philips-Verstärkern liegt er sehr niedrig, nämlich zwischen 2,5 und ca. 5 % (Verstärker VM 80: Klirrfaktor 2,5 %; Verstärker VM 20: Klirrfaktor ca. 5 %)!

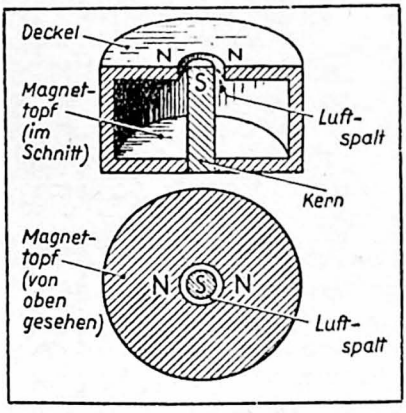


Natürlich beziehen moderne Verstärker ihren Strombedarf aus dem Lichtnetz. Wie man dabei im einzelnen vorgeht, wird in einer der nächsten Folgen beschrieben. Hier nur so viel, als daß die Philips-Verstärker an die verschiedensten Netzspannungen angeschlossen werden können. Es bedarf nur einer Verstellung des „Netzspannungskarussells", um wahlweise mit den Spannungen 110, 125, 145, 200, 220 oder 245 Volt arbeiten zu können.

D) LAUTSPRECHER

Die Aufgabe der Lautsprecher ist bekannt: sie sollen Schallschwingungen lautstark abstrahlen. Sie sind mithin in ihrer Funktion umgekehrte Mikrofone, womit nicht etwa gesagt sein soll, daß man jedes Mikrofon ohne weiteres als Lautsprecher benutzen könnte, denn beide Instrumente sind ihrem Verwendungszweck entsprechend konstruiert, das eine ist zart und das andere ist robust.

Es gibt eine ganze Reihe von Lautsprecherarten, von denen sich allein die „dynamischen" wirklich durchgesetzt haben. Man könnte sie auch Tauchspulen-Lautsprecher nennen, denn wie bei den Tauchspulen-Mikrofonen ist ihr wesentlicher Bestandteil ein kleines drahtumwundenes Spülchen, das in ein starkes Magnetfeld taucht. Während jedoch beim Mikrofon Ströme in den Drahtwindungen der von Schallwellen bewegten Tauchspule entstehen, wird das Spülchen beim Lautsprecher durch hin- und herpendelnde elektrische Ströme in mechanische Schwingungen versetzt. Diese werden über eine an der Tauchspule befestigte Membran in Luftschwingungen, d. h. in Schallwellen umgesetzt.



Streifen wir kurz die physikalischen Vorgänge. Von den Kraftlinien zwischen den Polen eines Topfmagneten wissen wir aus Voraufgegangenem ...

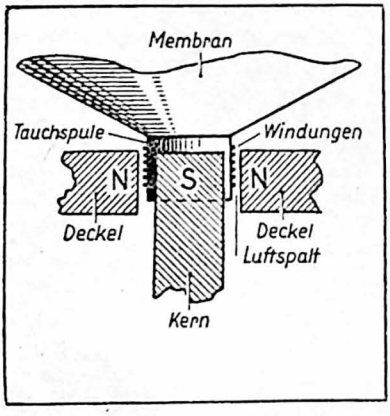
Die kleine Tauchspule

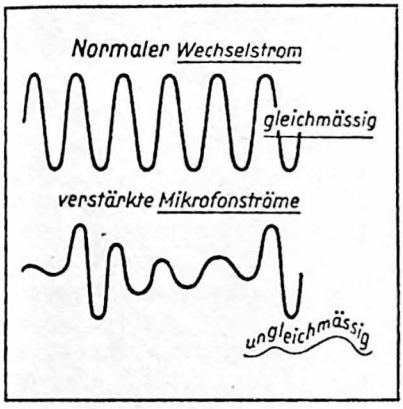
. . . wie uns auch die Tauchspule als ein kleines aus mehreren Windungen Drahtes bestehendes „Spülchen" bekannt ist.

Die Spule mit ihren Windungen taucht in den millimeterschmalen Luftspalt ein. An ihr – das sei vorweg genommen – ist die Lautsprechermembran befestigt.

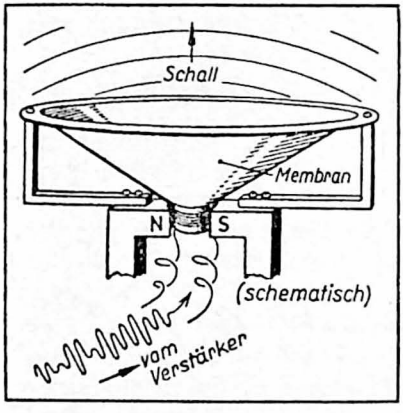
Wir verbinden die Spulenanschlüsse über eine zunächst geöffnete Taste mit einer Batterie. Schließen wir jetzt den Stromkreis, indem wir auf die Taste drücken, so daß Strom durch das Spülchen fließt, dann wird dieses in das Magnetfeld hineingezogen.
Wiederholen wir das Experiment, nachdem wir die Anschlüsse an der Batterie vertauscht haben, so daß der Strom jetzt in umgekehrter Richtung fließt, so wird die Tauchspule aus dem Magnetfeld herausgedrückt.

Legen wir einen stets seine Richtung ändernden Strom, einen Wechselstrom, an das Spülchen, so tanzt es zwischen den Polen des Magneten im Rhythmus der Wechselschwingungen auf und ab.

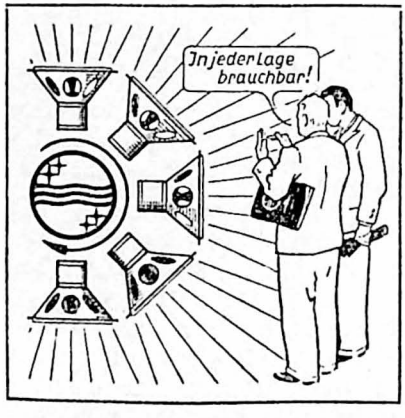




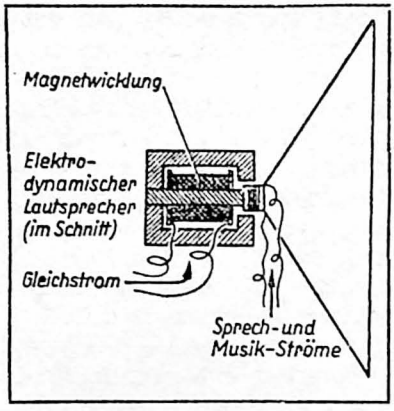
Die dem Lautsprecher vom Verstärker zugeleiteten Ströme sind Wechselströme, allerdings Wechselströme besonderer Art. Sie sind in ihrem Verlauf ungleichmäßig, entsprechen sie doch Schallschwingungen, die einmal eine höhere, einmal eine niedrigere Frequenz haben, einmal stärker, einmal schwächer sind. Werden diese (tonfrequenten) Ströme durch die Windungen der Tauchspule geschickt, so entsprechen ihre mechanischen Auf- und Abbewegungen den zugeführten elektrischen Wechselschwingungen (z. B. den Schwingungen der verstärkten Mikrofonströme).



Die leicht beweglich aufgehängte konusförmige Membran an der kleinen Tauchspule macht diese Schwingungen mit und vermittelt sie der umgebenden Luft: es entstehen Schallwellen, die den zugeführten tonfrequenten Stromschwankungen entsprechen.

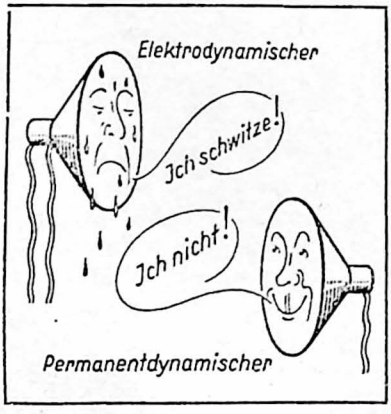


Eine Zentriervorrichtung sorgt dafür, daß die Spule nicht „an-eckt", während die Membran an ihrem äußeren Rande elastisch gehalten wird. Der Lautsprecher kann deshalb in jeder beliebigen Lage montiert werden.

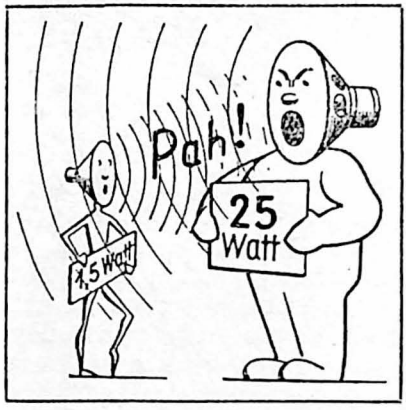


Früher benutzte man Elektromagnete für den Aufbau der „elektrodynamischen" Lautsprecher. D. h. man umgab den Eisenkern im Magnettopf mit vielen Drahtwindungen, durch die man Gleichstrom schickte, um starken Magnetismus und mithin ein kräftiges Magnetfeld im Luftspalt zu erzielen. Heute verwendet man vorzugsweise „permanente" Magnete, d. h. Dauermagnete, die keine gesonderte Stromzufuhr benötigen und ebenso, ja noch kräftiger sind als entsprechende Elektromagnete.

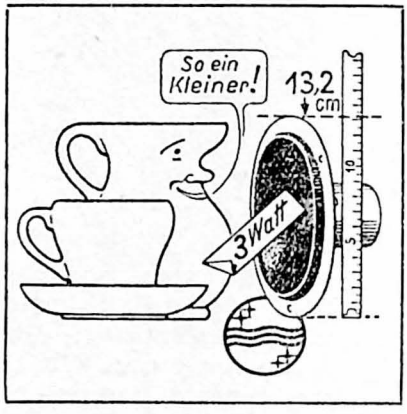
Das ältere System hat noch seine Vertreter, obwohl es mancherlei Nachteile mit sich bringt, z. B. installationstechnische Nachteile: statt einer Doppeladerleitung, mit der die Sprechströme zugeführt werden, bedarf es einer zweiten Doppelleitung, über die dem Lautsprecher-Elektromagneten der Gleichstrom zugeleitet wird. Sofern es sich nicht um einen im Rundfunkgerät eingebauten Lautsprecher handelt, ist ein zusätzlicher Gleichrichter für die Erzeugung der Feldspannung erforderlich, also für alle Lautsprecheranlagen.



Der Strom, der durch die Elektromagnetwicklungen fließt, erwärmt zudem den ganzen Lautsprecher, und das ist in mehrfacher Hinsicht ungünstig: die feinen Schwingteile altern schneller. Insbesondere bei feuchter Luft „schwitzt" der Lautsprecher, es bildet sich Kondenswasser, das natürlich dem System auf die Dauer schadet.

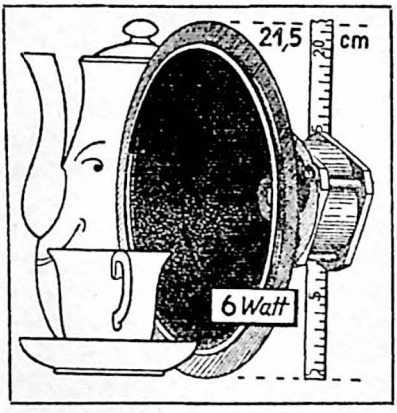


Die abgestrahlte Schalleistung eines Lautsprechers kann in Watt angegeben werden. Allgemein aber gibt man — um die Größenordnung zu kennzeichnen — die maximale Leistung an, die der Lautsprecher aufnehmen, d. h. verarbeiten kann. Ein 6-Watt-Lautsprecher muß also nicht mit 6 Watt belastet werden, sondern man kann ihn auch mit 1 Watt betreiben.



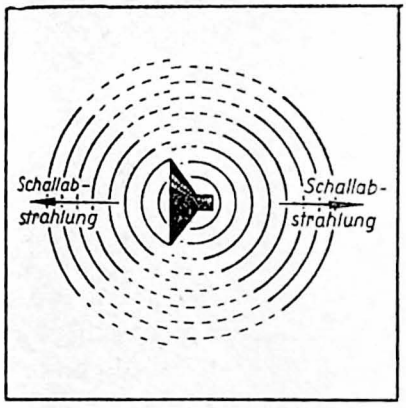
Das kleinste Philips-Modell ist ein 3-Watt-Lautsprecher. Es hat einen Durchmesser von 132 mm, ist also nicht viel größer als ein Milchkännchen. Praktisch läßt sich der „Kleine" für alle möglichen Zwecke verwenden, z. B. als zweiter Lautsprecher zum Empfangsgerät.

Er ist überall dort am Platz, wo es darauf ankommt, den Lautsprecher möglichst unauffällig anzuordnen. — Auch in größeren Anlagen kann er Dienste tun, nämlich dort, wo eine einwandfreie „Beschallung" großer Räume wegen ihres langen Nachhalles nur mit kleinen Einheiten zu erreichen ist

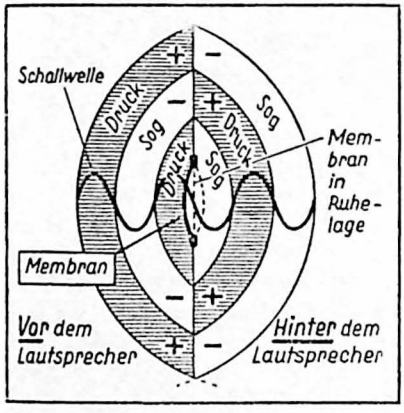


Doppelt soviel als der eben erwähnte „Kleine" kann das 6-Watt-Modell aufnehmen. — Die Philips-Lautsprecher — muß es besonders gesagt werden? — beruhen alle auf dem permanent-magnetischen System und sind auch aus diesem Grunde besonders haltbar.

Der 6-Watt-Philips-Lautsprecher eignet sich ausgezeichnet zur Schallwiedergabe im Freien; u.a. auch zur Verwendung auf Kraftfahrzeugen in einem Trichter.

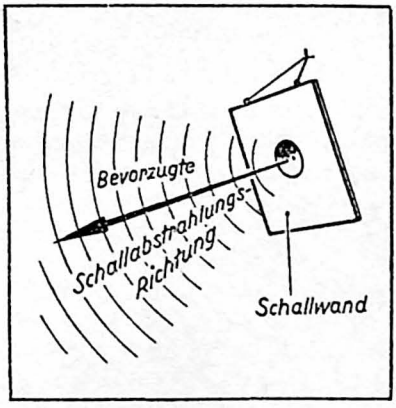


Es hat seine besonderen Gründe, weshalb man den Lautsprecher oft mit einer „Schallwand" umgibt. Einer davon ist der, daß besonders die tiefen Töne ohne Verwendung einer Schallwand schlechter abgestrahlt werden. Es kann nämlich zu einem Druckausgleich vor und hinter dem Lautsprecher kommen, wenn das nicht durch ein Hindernis, eben durch die Schallwand verhindert wird: Der Lautsprecher strahlt nicht nur nach vorne, sondern auch nach hinten ab.

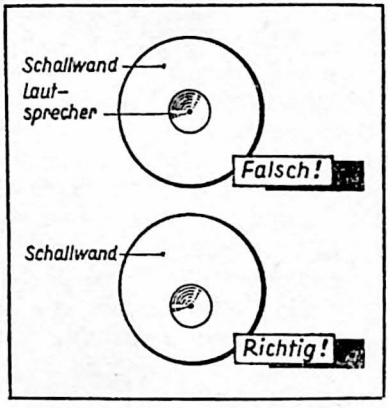


Es ist allerdings so, daß im gleichen Augenblick, in welchem vorne ein Druck-Maximum entsteht, ein Druck-Minimum an der Rückseite auftritt; vorne drückt die Membran die Luft zusammen, während sie gleichzeitig auf der Rückseite die Luft verdünnt. Die Zeichnung will das an einer gerade ausgespannten, an einer flächigen Membran, veranschaulichen.

Praktisch ergibt sich, daß ein Lautsprecher ohne Schallwand (oder ohne vorgesetzten Trichter, von dem später noch gesprochen wird), nicht alle Tonfrequenzen gleichgut in den Raum strahlt. Eine möglichst geradlinige Frequenzkurve ist aber bei der Lautsprecherwiedergabe ebenso wichtig wie bei der Mikrofonaufnahme oder bei der Verstärkung, wenn eine naturgetreue Wiedergabe erzielt werden soll.

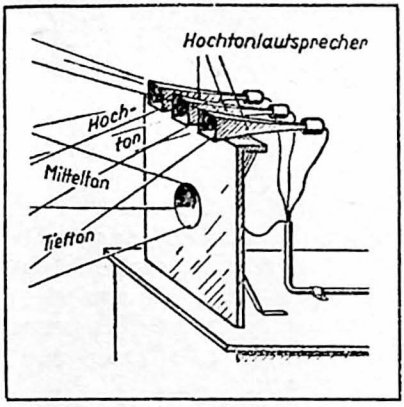


Die Schallwand sorgt schließlich für eine bevorzugte Abstrahlung in einer Richtung.

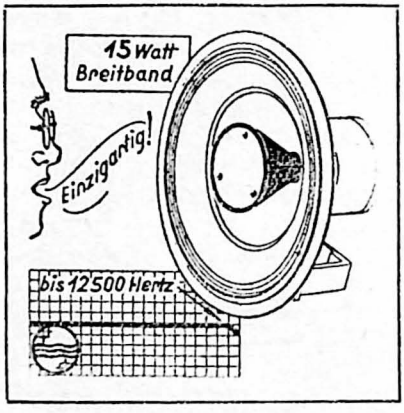


Übrigens ist es falsch, der manchmal gewählten runden Schallwandform den Kreis-Ausschnitt für den Lautsprecher in der Mitte zu geben, exzentrisch angebracht ist die Wiedergabe bedeutend besser.

Akustisch günstiger als die unförmige Schallwand wirkt sich ein Gehäuse aus; ob offen oder geschlossen, das hängt von den jeweiligen Eigenarten des Lautsprechers ab. Jedenfalls können die Gehäuseabmessungen immer sehr viel geringer sein als die einer akustisch gleichartig wirkenden Schallwand.

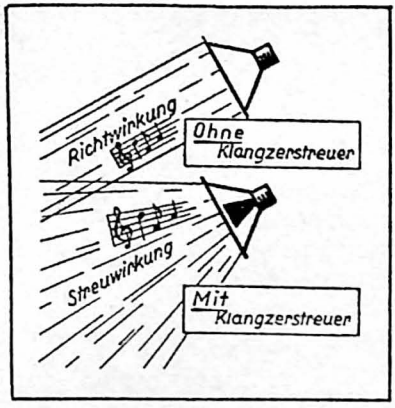


Es gibt Lautsprecherfabrikate, welche die tiefen Töne bevorzugt abstrahlen bzw. die hohen Töne vernachlässigen, so daß es bei größeren Ansprüchen, wie sie z. B. in Kinos gestellt werden, erforderlich wird, einen oder mehrere sogenannte „Hochtonlautsprecher" hinzuzunehmen.

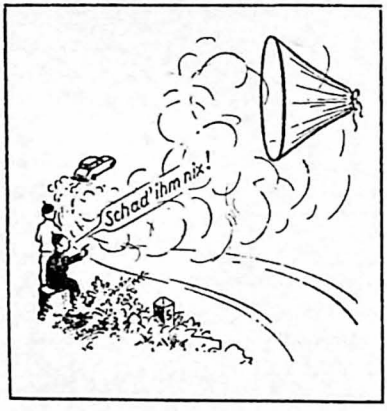


Die Philips-Werke stellen einen 15-Watt-Breitband-Lautsprecher her, der das ganze Frequenzband hinauf bis zu 12500 Hz wiedergibt. – Er ist der einzige seiner Art. Durch seine Verwendung erübrigen sich Lautsprecherkombinationen wie die oben geschilderte.

Uns fällt auf, daß dieser Lautsprecher im Gegensatz zu anderen Modellen mit einem kegelförmigen Etwas in der Membranmitte versehen ist. Wir lassen uns unterrichten: es ist ein „Klangzerstreuer", der die Schallabstrahlverhältnisse besonders günstig beeinflußt.

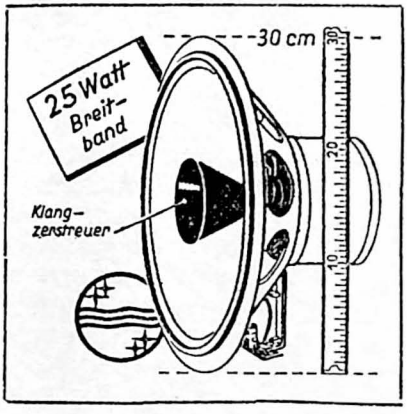


Er bewirkt eine räumliche Schallstreuung, besonders der hohen Töne (hohen Frequenzen). Die Richtwirkung des Lautsprechers wird herabgesetzt und die Wiedergabe wird für alle Frequenzen gleichmäßiger.

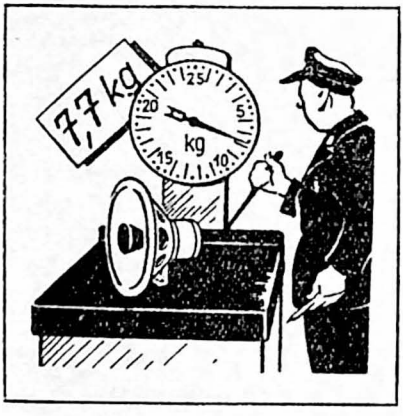


Der Lautsprecher ist mit einem Stoffüberzug versehen, der ihn vor Verunreinigungen durch Staub schützen soll. Vor allem aber wird durch den Stoff, der in keiner Weise die Wiedergabe beeinträchtigt, verhindert, daß kleine Eisenteilchen in den Luftspalt gelangen, was bei der außerordentlichen Kraft des Permanentmagneten leicht geschehen kann.

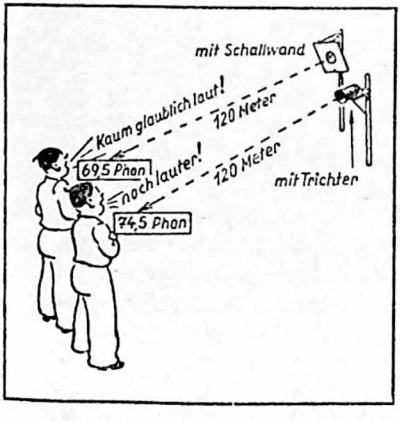
Früher hatten wir die Phontabelle kennengelernt; sie sollte uns einen Eindruck der verschiedenen Phonwerte vermitteln. Wir erinnern uns, daß einem Phon-Wert „100" lautestes Motorradgeknatter entspricht. Mit dem 15-Watt-Breitbandlautsprecher hat man Lautstärkeversuche angestellt und dabei u. a. gemessen, daß bei einer Frequenz von 435 Hertz, die ungefähr dem „eingestrichenen A" entspricht (auf dem Klavier die Taste über dem Schlüsselloch) in 2 Meter Entfernung vom Lautsprecher 104 Phon bei voller Belastung abgegeben werden. Das ist ungeheuer viel und außerordentlich laut.



Eine Dauerbelastung mit sogar 25 Watt verträgt der Breitbandlautsprecher L 25 B, der ein nahezu geradliniges Frequenzband zwischen 25 Hertz und 10 000 Hertz hat. Auch dieses Modell ist mit dem Philips-Klangzerstreuer versehen und macht Kombinationsanordnungen mit anderen Lautsprechern unnötig.

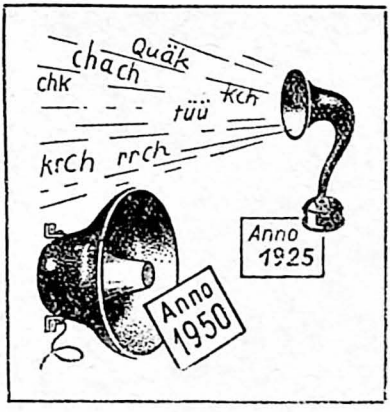


Dieser Riese ist gemessen an anderen Fabrikaten der gleichen Größenordnung noch nicht einmal schwer, im Gegenteil: er ist geradezu leicht. Einer seiner 25-Watt-Kollegen anderer Eltern wiegt mehr als das Doppelte – und leistet doch nicht mehr. – Es gibt kein besseres 25-Watt-System auf dem deutschen Markt als der eben erwähnte Philips-Riese.



Auch mit ihm hat man „Phon"-Messungen durchgeführt, und zwar wurde er dabei einmal mit einer Schallwand umgeben und ein anderes Mal mit einem Trichter versehen. Es zeigte sich, daß bei Verwendung eines Trichters in gleicher Entfernung eine größere Lautstärke auftrat. Die folgenden Werte wurden in der Schallachse bei voller Belastung gemessen:

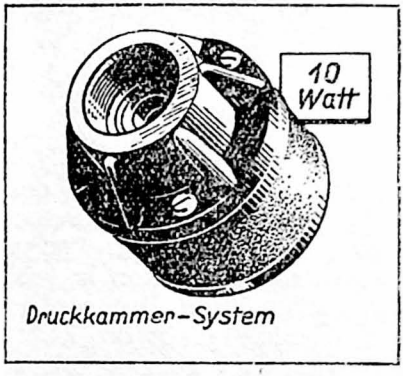
mit Schallwand		mit Trichter	
Abstand	Phon	Abstand	Phon
30 m	81,5	30 m	86,5
60 m	75,5	60 m	80,5
90 m	72,0	90 m	77,0
120 m	69,5	120 m	74,5



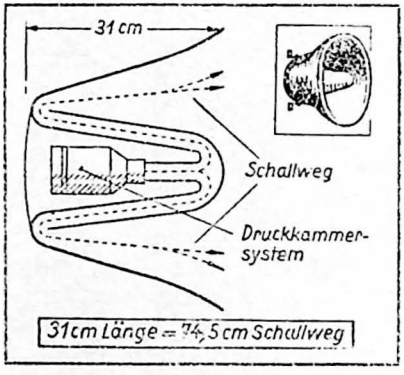
Aus dem Voraufgegangenen läßt sich erkennen, daß die Verwendung eines Trichters in vielen Fällen empfehlenswert erscheint. Allerdings haben die modernen Lautsprechertrichter eine ganz andere Form angenommen, als sie jene hatten, die manchem von uns noch aus den ersten Jahren des Rundfunks in Erinnerung sein werden.

Der Philips-„Reflex-Trichter" wurde insbesondere für Übertragungsanlagen entwickelt, bei denen gute Sprachverständlichkeit bei großer Lautstärke gefordert werden. Sie ist praktisch noch auf mehrere hundert Meter gewährleistet.

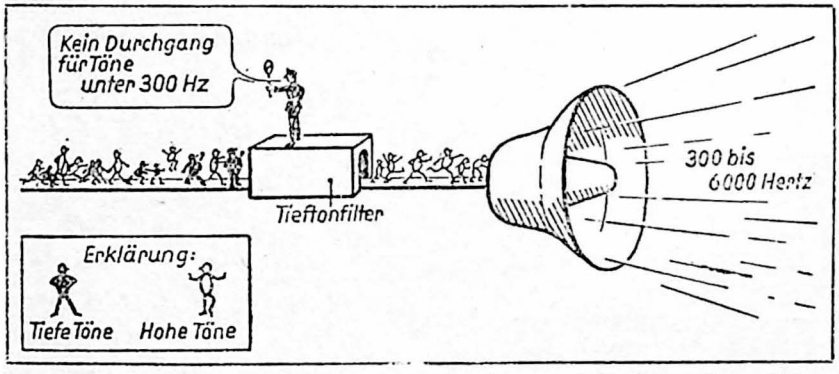
Der Trichter ist wettersicher und kann deshalb, ohne Schaden zu nehmen, bei jeder Witterung im Freien benutzt werden. Er eignet sich u. a. gut zur Befehlsübermittlung z. B. bei der Polizei oder bei der Feuerwehr.



Für die Verwendung mit einem Reflex-Trichter wurde ein besonderes Lautsprechersystem entwickelt, das Philips 10-Watt-Druckkammersystem L 10 D, das trotz seiner kleinen Membran in Verbindung mit dem Trichter größte Lautstärken abzugeben vermag. Das System wird einfach an den Trichtereingang angeschraubt.

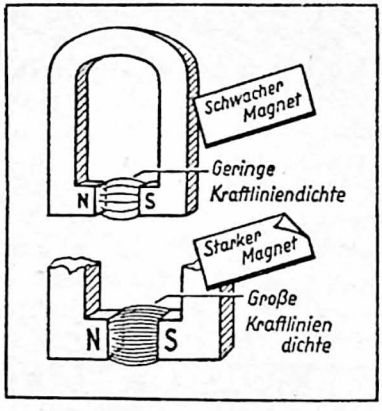


Ein Trichter für akustische Zwecke ist um so wirksamer, je länger er ist. Das wurde bei der Philips-Konstruktion berücksichtigt, die so geschickt gestaltet wurde, daß bei einer wirklichen Länge von 31 Zentimetern eine Länge von 74,5 Zentimetern wirksam wird.

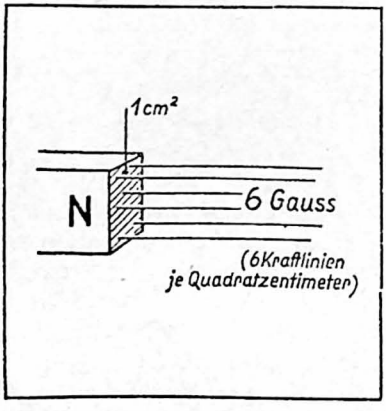


Die Sprachverständlichkeit wird größer, wenn die tiefsten Töne unterdrückt werden. Deshalb ist dieser Lautsprecher mit einer Einrichtung versehen worden, die man „Tieftonfilter" nennt. Das Tieftonfilter schneidet alle Töne, die eine Frequenz unterhalb von 300 Hertz haben, ab. Dadurch werden auch störende Hintergrundgeräusche nicht mit übertragen.

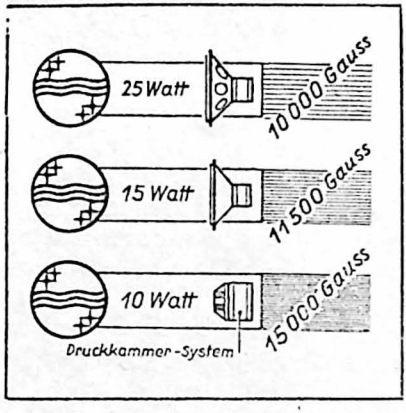
Der gute Wirkungsgrad des Druckkammersystems ist besonders auf die außerordentlich hohe Feldstärke des Magneten im Luftspalt zurückzuführen. Sie beträgt 15000 Gauss! Was das heißt, soll im folgenden kurz erklärt werden.



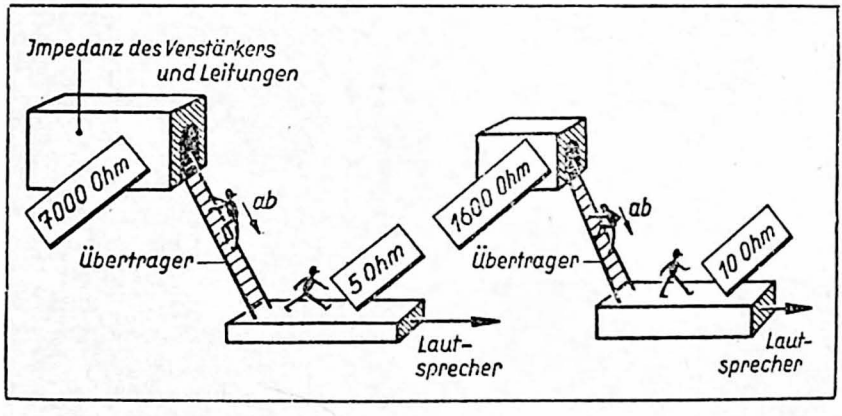
Maßgebend für die Kraft eines Magneten ist die Zahl der Kraftlinien, die von einem Pol ausgehend zum anderen hinstreben. Je mehr Kraftlinien, je größer die „Kraftliniendichte", die in „Gauss" angegeben wird, um so stärker ist der Magnet und ist das Magnetfeld.



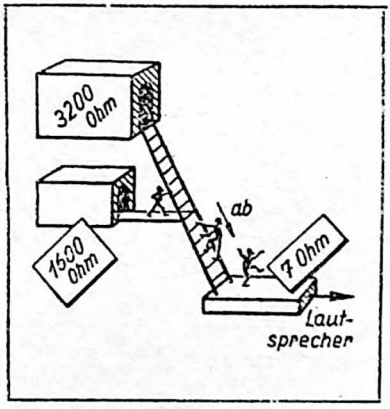
Bei 6 Kraftlinien je Quadratzentimeter spricht man von 6 Gauss, bei 1000 von 1000 Gauss, usw.



Daraus können wir ermessen, wie außerordentlich groß die Kraftliniendichte im Luftspalt der Philips-Lautsprecher ist, bei denen zur Erzielung großer Feldstärken ein ganz besonderer magnetischer Werkstoff, nämlich „Ticonal"-Stahl Verwendung findet.

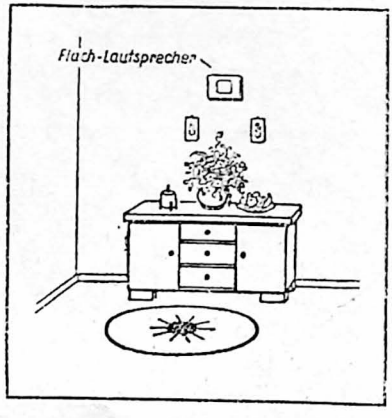


Jeder Lautsprecher muß den jeweiligen elektrischen Verhältnissen angepaßt werden, ähnlich wie Mikrofone durch Zwischenschaltung eines geeigneten „Transformators" oder „Übertragers" den verwendeten Verstärkern angepaßt werden. Die Philips-Werke stellen daher eine Reihe von „Übertragern" her, die, vor den Lautsprecher geschaltet, diesen mit dem übrigen System in Einklang bringen. Es sind in gewissem Sinne Leitern, die den Übergang von „hoch" (viele Ohms) auf „niedrig" (wenige Ohms) ermöglichen.

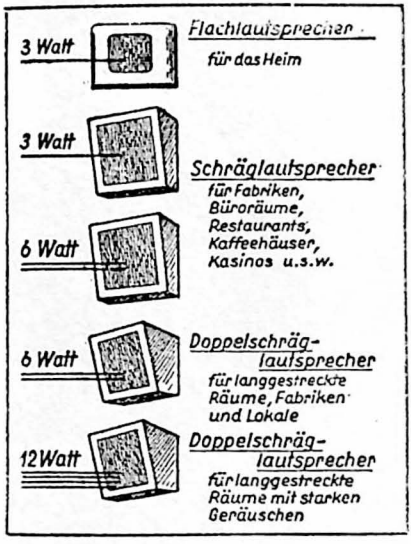


Einige Übertrager sind so eingerichtet, daß sie sich verschiedenen Primär-Werten anpassen lassen, z. B. von 3200 Ohm als auch von 1600 Ohm an 7 Ohm. Über das Physikalische dieser Dinge werden wir später noch Gelegenheit haben, uns näher zu unterhalten.

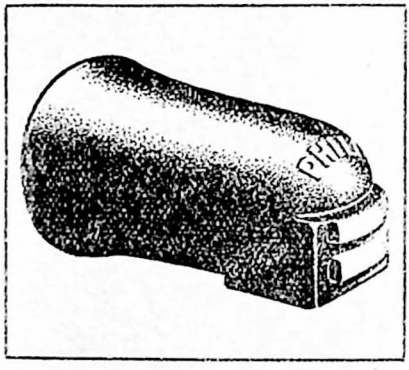
Bisher haben wir fast nur von „nackten" Lautsprechersystemen gesprochen, die jedoch alle ihrem Verwendungszweck entsprechend „bekleidet" werden, sei es mit einem Gehäuse (wie z. B. bei den Empfängern), sei es, daß sie sich mit einer Schallw. and umgeben oder sich in einem Trichter verstecken.



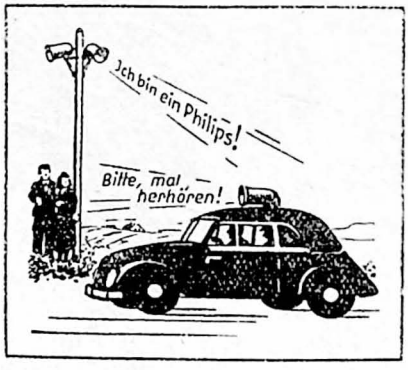
Dort wo der Lautsprecher nicht in einem Gerät (z. B. einem Empfänger) untergebracht ist, kommt es darauf an, ihn aus ästhetischen Gründen so zu umkleiden, daß er sich möglichst unauffällig in seine Umgebung einfügt. Eine große Schallwand ist wahrhaftig nicht überall am Platze. Deshalb wurden von den Philips-Werken Flachlautsprecher entwickelt, die von einem geschmackvollen Holzgehäuse umgeben sind. Ihre guten Klangeigenschaften werden durch das Gehäuse nicht im geringsten beeinflußt.



Je nach dem Verwendungszweck stellen die Philips-Werke die verschiedensten Modelle her, solche für das Heim, solche für gepflegte Gesellschaftsräume, solche für Büros, Kasinos, Restaurants, Kaffeehäuser und Fabrikräume. Die Schrägmodelle gestatten durch den Einbau des Lautsprecherchassis in einem gewissen Neigungswinkel eine Schallabstrahlung in gewünschter Richtung.



Schließlich – um wieder an die frische Luft zu gehen – muß noch eines Trichters Erwähnung getan werden, in dem sich die vorbeschriebenen 15-Watt- und 25-Watt-Lautsprechertypen regen- und feuchtigkeitssicher unterbringen lassen. Durch die besondere Art der Schallführung wird die Wiedergabe eines breiten Frequenzbandes gewährleistet.



Das Modell läßt sich leicht an Masten montieren. Es eignet sich besonders für fahrbare Anlagen.

PHILIPS

E) VORFÜHRUNG VON ELA-ANLAGEN

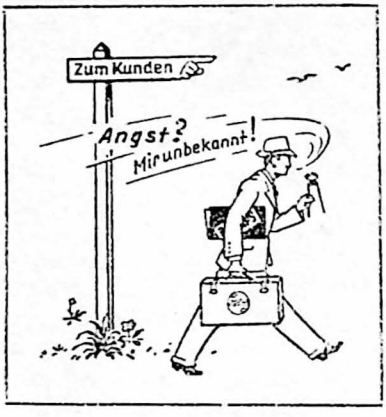
1. Vorbereitungen

Es ist verständlich, wenn der Nichttechniker eine gewisse Angst vor dem Drum und Dran einer elektroakustischen Anlage hat. Aber die Angst ist völlig unbegründet. Die wirklichen Schwierigkeiten wurden vorher beseitigt, und zwar durch die Philips-Ingenieure und Techniker, welche die Geräte entwickelten. Sie haben von vornherein daran gedacht, daß die Anlagen eines Tages von »Laien« bedient werden sollen, vielleicht von einem Gastwirt, von dem Dirigenten einer Tanzkapelle, von einem Kirchendiener in der Kirche, von einem kaufmännischen Angestellten im Büro, von einem Arbeiter in der Fabrik.

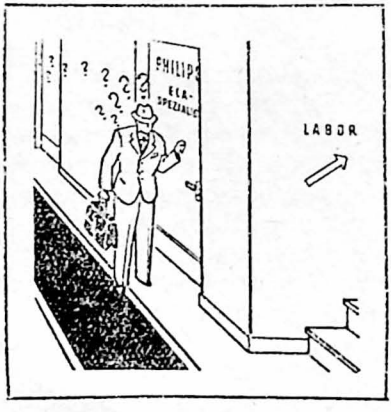
Der Verkäufer hat nichts anderes zu tun, als den Interessenten – mit innerem Stolz – zu zeigen, wie gut, wie einwandfrei die Philips-Geräte arbeiten. Die paar Handgriffe sind schnell erlernt, die Beurteilung der speziellen Fälle werden dem Verkäufer nach einigen ersten Versuchen kaum mehr Schwierigkeiten bereiten, er müßte denn auf den Kopf gefallen sein.

Gewiß ist Vorbedingung, daß man dem Gebiete, mit dem man sich beschäftigt, einiges Interesse entgegenbringt, ein Interesse übrigens, das durch die Beschäftigung mit der Materie mehr und mehr wächst. Jeder einzelne wird sich daher in seinen Mußestunden etwas mit den technischen Hintergründen befassen, auch dann, wenn er nicht die Absicht hat, ein ausgewachsener Techniker zu werden.

Dem Kunden gegenüber gewinnt der Verkäufer schnell das Gefühl der Überlegenheit, denn bei der geschickten Vorführung einer Ela-Anlage hat der spätere Käufer fast immer das Gefühl, so etwas wie einen modernen Zauberer vor sich zu haben. – Die Bearbeitung des Kunden ist um so leichter, als die Philips-Werke grundsätzlich nur ausgereifte Erzeugnisse auf den Markt bringen. Ja, wenn die Fabrikate minderer oder nur mittlerer Qualität wären, wenn es andere, bessere gäbe, dann würde alles weniger leicht sein. So aber hat der Verkäufer die Sicherheit, daß er beste Ware anbietet, daß er von der Konkurrenz nicht »ausgebootet« werden kann, wenn er sich nicht ganz dumm anstellt und nicht grundsätzliche Fehler macht.



Um eine Philips Verstärker-Anlage vorzuführen, braucht man kein Ingenieur zu sein; Zusammen-Schaltung der Geräte und die Bedienung sind schnell gelernt. Drum: keine Angst vor der technischen Praxis.



Jedoch soll der Verkäufer keinen falschen Ehrgeiz zeigen: bei Großanlagen oder bei besonders kompliziert gelagerten Verhältnissen muß selbstverständlich der Ela-Ingenieur mit seiner größeren Erfahrung und seinem tieferen Wissen hinzugezogen werden. Wo sich der Verkäufer den technischen Anforderungen nicht gewachsen fühlt, muß er sich unter allen Umständen an die Fachleute wenden, die ihm immer zur Verfügung stehen. Sonst fügt er seiner Firma Schaden zu.

Die Vorbereitungsarbeiten zu einer Vorführung sind grundsätzlich ernst und wichtig zu nehmen. Sie müssen mit Bedacht und Sorgfalt vorgenommen werden, denn von ihnen hängt der Erfolg wesentlich ab, alles andere ist dann ein Kinderspiel. Im weiteren sind entsprechende Hinweise und Tips gegeben.

Zunächst muß man wissen: „Was will der Kunde?" Es wird jedem Verkäufer bald leicht fallen, die jeweiligen Verhältnisse nach einer ersten Unterhaltung mit dem Interessenten und nach einer Ortsbesichtigung richtig zu beurteilen. Man notiere sich die Antworten zu folgenden Fragen:

1. Welchem Zweck soll die Anlage dienen?

(Werden besonders hohe Ansprüche an die Wiedergabegüte gestellt, oder ist nur Sprachübertragung, bei der es auf einwandfreie Verständlichkeit des gesprochenen Wortes ankommt, beabsichtigt?)

Es bestehen z. B. folgende Möglichkeiten:

a) Rundfunkübertragungen in andere Räume:
(Reiner Ortsempfang oder auch Fernempfang?)

b) Schallplattenübertragung

c) Übertragung des gesprochenen Wortes
- im gleichen Raum
- aus einem Raum in einen oder mehrere andere
- zur Verstärkung, z. B. einer Ansprache, eines Vortrages, einer Predigt in größeren Räumen oder ins Freie
- zur Nachrichtenübermittlung (z. B. in Büros), zum Herbeirufen von Personen, zur Kommando-Übermittlung
- zur Ansage von Konzertstücken oder der Conference, z. B. im Kabarett
- zur Verbesserung der Schallverhältnisse in akustisch schlechten Räumen.

d) Übertragung musikalischer Original-Darbietungen
- zur Verstärkung im gleichen Raum
- in andere Räume oder ins Freie

e) Kombinationen der Fälle a) bis d)

2. Wie sind die in Betracht kommenden Räume beschaffen, welchem Zweck dienen sie?

a) Größe der in Betracht kommenden Räume (ausmessen)

b) Verwendungszweck der Räume oder Säle (Büroräume, Hotelzimmer, Speisesäle, Schulräume, Kaffees, Bierlokale, Fabrikräume, Versammlungsräume usw.)

c) Raumakustische Verhältnisse

3. Soll eine Übertragung ins Freie stattfinden?

a) Wie groß ist der Platz, der beschallt werden soll?

b) Wieviel Menschen faßt er maximal?

c) Ist mit Echowirkungen, mit Nachhall zu rechnen?

4. Was kann oder was will der Interessent geldlich anlegen?

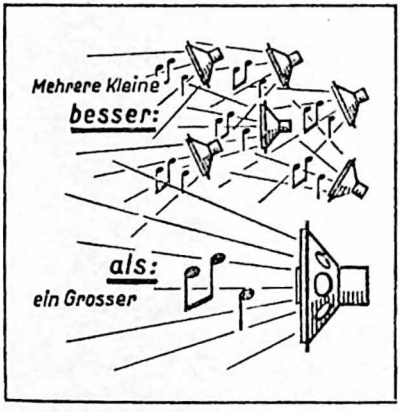
Die Beantwortung dieser Fragen ergibt ein erstes Bild von dem, was angeboten werden kann und ist ferner Unterlage für die Vorbereitungsarbeiten zur Vorführung, d h. für die Zusammenstellung der zur Vorführung erforderlichen Geräte und ihr Zubehör. (Die hier nicht erwähnten fahrbaren Anlagen werden gesondert behandelt.)

An Hand der verschiedenen Philips-Druckschriften, so z. B. der Zusammenstellung „Philips-Elektroakustik" und der einzelnen Bedienungsanweisungen kann der Verkäufer seine vorbereitenden Maßnahmen treffen. Er sieht, was zur Verfügung steht, kann sich über die jeweiligen technischen Notwendigkeiten unterrichten und sich über die Preise orientieren. Unter Umständen kann er sich Rat bei länger eingearbeiteten Kollegen, möglichst aber beim Spezialisten holen.

Drei Beispiele sollen einen gewissen Anhalt für die Marschroute geben:

Beispiel 1

In einem Kaffeehaus mit mehreren Räumen mittlerer Größe soll eine Rundfunkübertragungsanlage eingebaut werden. Ein guter, aber für die Schallversorgung allein nicht ausreichender Empfänger ist vorhanden. Die Lautsprecher sollen möglichst wenig auffällig angebracht werden. Stromart: Wechselstrom 220 Volt. (Bei dieser Gelegenheit: Nicht vergessen, sich über die beim Kunden gegebenen Strom- und Spannungsverhältnisse zu vergewissern!)



Hier kommt die 20-Watt Endstufe in Betracht (EW 20, Typ VE 1401) Man wird 3-Watt-Flach- oder -Schräglautsprecher vorsehen. Die Störgeräusche sind in Kaffeehäusern verhältnismäßig gering, so daß mit einer geringeren Lautstärke ausgekommen werden kann als z. B. in geräuschvolleren Bierlokalen. Nach der Raumgröße richtet sich die Zahl der Lautsprecher. Es ist aus akustischen Gründen fast immer vorteilhaft, mehrere kleine Lautsprecher an Stelle eines großen zu verwenden, d. h. die Schallenergie aufzuteilen.

Es ist empfehlenswert, einen Plattenspieler mit in das Programm für den Vorführungstag einzubeziehen. Mit seiner Hilfe lassen sich erste Versuche sicherer durchführen als mit einem unbekannten Empfängertyp. Es kann auch sein, daß der Empfänger unter Störungen leidet. Eine Vorführung mit Krachgeräuschen wirkt aber durchaus nicht überzeugend. Überdies kann die Schallplattenvorführung den Kunden vielleicht zum Kauf eines Plattenspielers anregen (Philips-Zehn-Platten-Spieler!). Bei der vorbereitenden Plattenwahl gebe man der Solomusik und „weicheren" Instrumenten

den Vorzug: Harmonika, Bandonion, Violine, Cello, Orgel. Orchesterstücke, Sopranstimmen stellen höhere Anforderungen an die Wiedergabe. (Die erforderlichen Verbindungsleitungen für den Plattenspieler und Nadeln nicht vergessen.)

Sämtliche Geräte soll man aus Sicherheitsgründen vor dem Mitnehmen noch einmal prüfen lassen. Überdies schließe man die Anlage provisorisch und probeweise an, bevor man sich zum Kunden begibt: Um so sicherer fühlt man sich bei der Vorführung, um so besser klappt's dann!

Was an einzelnem Material, an Werkzeugen usw. vorzubereiten ist, geht aus einer Zusammenstellung hervor, die weiter unten folgt.

Beispiel 2

Ein mittlerer Gaststätten-Betrieb (Bierlokal) möchte eine Anlage zur Übertragung von Rundfunk und Schallplattendarbietungen haben. Die Anlage soll auch zu gelegentlichen Durchsagen verwendet werden können. Drei nicht sehr große Räume sollen beschallt werden. Stromart: Wechselstrom 110 Volt.

In Betracht kommt der Philips-20-Watt-Mischpultverstärker. Zu den Vorbereitungsarbeiten gehört die Einstellung auf 110 Volt Netzspannung. Die Lautsprecherfrage läßt sich nicht immer vom grünen Tisch aus lösen, deshalb verschiedene Modelle in Betracht ziehen. Flach und Schräglautsprecher mit 3 und 6 Watt. – Als Mikrofon wählt man das Modell M 49 (Typ 9549/03). An Tischständer denken! Es ist empfehlenswert, einen 10-Platten-Spieler für die Vorführung bereit zu halten.

Im übrigen gelten gleiche Gesichtspunkte für die Vorbereitungsarbeiten wie unter Beispiel 1 angegeben.

Beispiel 3

In den Arbeitssälen einer Fabrik soll Rundfunk- und Schallplattenmusik durch Lautsprecher wiedergegeben werden. – Die Übertragung auf einen von den Fabrikgebäuden an drei Seiten umgebenen Platz soll möglich sein. Vom Standort des Verstärkers aus sollen Durchsagen gegeben werden können. Stromart: Wechselstrom 220 Volt.

Hier ist der 80-Watt-Mischpultverstärker vorzusehen. Dazu das Philips-Tauchspulenmikrofon M 49 (Typ 9549/03). Lautsprecher: 6-Watt-Typen, u. a. (wahrscheinlich) der Philips L 3 DS Doppelschräg-Lautsprecher; für die Anbringung im Freien der 6-Watt-Schrägstrahler in Silumingehäuse. Zahl und Art der Lautsprecher läßt sich erst an Ort und Stelle bestimmen. Im übrigen gelten auch hier die unter 1 angegebenen Hinweise für die Vorbereitungsarbeiten.

Die Zahl der Beispiele ließe sich ins Unendliche vermehren. Hier wurden nur drei angeführt, um ganz allgemeine Richtlinien zu geben.

Der erste Besuch beim Kunden gibt Gelegenheit, sich über die örtlichen Verhältnisse zu unterrichten. Man stellt fest, welche Leitungslängen in Betracht kommen, wo sich Netzanschlüsse befinden, wo eine Erdung möglich ist, von deren solider Ausführung oft sehr viel für das einwandfreie Arbeiten der Anlagen abhängt. Gegebenenfalls ist auch die Antennenanlage des Rundfunkempfängers einer Kontrolle zu unterziehen.

Was ist für die Vorführung zusammenzustellen?

Hier folgt eine kleine Liste, in deren Abschrift sich der Verkäufer beim ersten Kundenbesuch (bzw. hinterher) alle wichtigen Faktoren vermerken mag, damit bei den Vorbereitungsarbeiten nichts vergessen wird.

Art der zu beschallenden Räume: (z. B. Kaffeehaus, Bierlokal, Fabrikräume, Schulräume usw.)

Größe und Zahl der Räume: (z. B. 4 Räume, davon zwei: 10x20x2,7 m und zwei: 15x21x2,7 m) Lageplan skizzieren!

Stromart: (z. B. Wechselstrom)

Spannung: (z. B 220 Volt)

Netzanschluß: (z. B. notieren, ob neue Steckdosen angebracht werden müssen; ob für die Vorführung längere Anschlußkabel erforderlich sind; Zahl der erforderlichen Netzanschlußkabel; ob Mehrfachstecker usw. mitzunehmen sind)

Erdanschluß: (ob vorhanden, evtl. erforderliches Material, z. B. Erdungsklammern, Erdleitung, Stecker usw.)

Rundfunkempfänger: (ob vorhanden; ob vorhandenes Gerät tauglich, evtl. welches Gerät vorzusehen ist)

Antennenanlage: (gegebenenfalls erforderliches Material hier angeben)

Mikrofon: (vorgesehene Type angeben)

Verstärker: (z. B. 20-Watt-Mischpultverstärker)

Lautsprecher: (z. B. vier 3-Watt-Lautsprecher)

Plattenspieler: (z. B. „vorhanden")

Platten: (Auswahl treffen)

Nadeln für Tonabnehmer: (evtl. Philips-Dauernadel)

Verbindungsleitungen: (Länge und Art der Kabel angeben)

Ersatzröhren: (entsprechende Typen notieren)

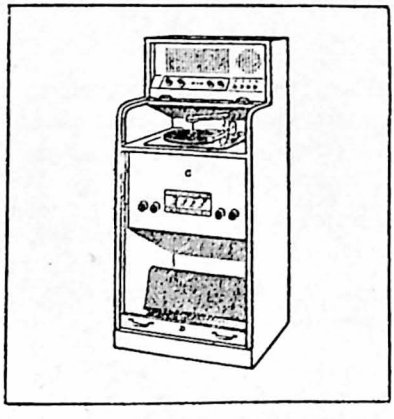
Reserve-Sicherungen: (entsprechende Art und Menge notieren)

Werkzeuge und Hilfsmaterial: (z. B. Zangen, Schraubenzieher, Isolierband usw.)

Besonderes: (z. B. Prospektmaterial, Bedienungsanweisungen, Preislisten zum Mitnehmen)

Der Verkäufer eignet sich nach kurzer Zeit eine gewisse Sicherheit in bezug auf die Wahl des Erforderlichen an. Trotzdem empfiehlt es sich, die Liste jedesmal auszufüllen, die auch dem Geübtesten willkommene Gedächtnisstütze sein wird.

In den oben angeführten Beispielen wurde nicht auf die »Verstärkerzentrale im Kleinformat« und ebensowenig auf das »Gaststätten und Schulfunkgerät« hingewiesen. Bei den ersten Verhandlungen mit dem Kunden ergibt sich schon, ob es ratsam ist, eine von diesen Kombinationen anzubieten, deren Vorführung keinerlei Schwierigkeiten bereitet.



Die fahrbaren Anlagen (Auto- und Omnibusanlagen) bedürfen hier keiner besonderen Behandlung, da für die Vorbereitungsarbeiten im Prinzip gleiche Grundsätze gelten. Im nächsten Kapitel wird auf diese Anlagen näher eingegangen.

2. Die Vorführung selbst

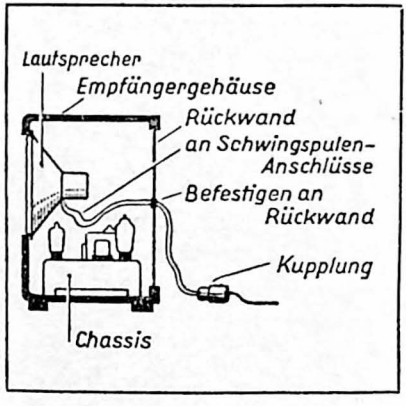
Erster Grundsatz: Ruhe bewahren, auch dann, wenn einmal nicht alles „auf Anhieb" klappen sollte.

Zweiter Grundsatz: Immer höflich bleiben, der Kunde weiß selbstverständlich alles besser, jedenfalls muß er diesen Eindruck behalten. Ihn unmerklich eines noch Besseren zu belehren, ist u. U. eine der delikaten Aufgaben des Verkäufers.

Anschluß der 20-Watt-Netzendstufe EW 20.

Vor dem Anschluß hat man sich überzeugt, ob der vorhandene Rundfunkempfänger mit genügender Qualität wiedergibt. Ist das nicht der Fall, so sollte man ihn nicht zur Vorführung mit dem Verstärker benutzen. Man kann ihn höchstens einmal zu einem kurzen überzeugenden Vergleich mit einem besseren Philips-Gerät in Betrieb nehmen. Steht im Augenblick kein Empfänger zur Verfügung, so begnüge man sich vorerst mit der Wiedergabe von Schallplatten.

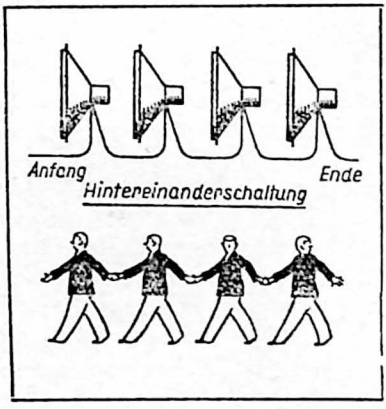
Der Verstärker wird mit den Buchsen am Empfänger verbunden, die für die Zuschaltung eines zweiten Lautsprechers vorgesehen sind. Dabei ist auf richtige „Anpassung" zu achten. Es gibt Empfänger mit niederohmigen und hochohmigen Ausgängen. Ein entsprechender Vermerk findet sich oft auf der Rückwand des Empfängers oder es finden sich Angaben in der entsprechenden Gebrauchsanweisung.



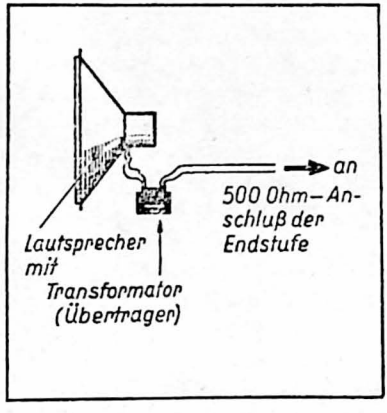
Bei den Empfangsgeräten, die keine Anschlüsse für einen zweiten Lautsprecher aufweisen, legt man die Verbindungsleitungen zum Verstärker an die Schwingspule des eingebauten Lautsprechers (anlöten, Schnüre herausführen und festlegen, an ihrem Ende Kupplungsstück anbringen). – Die Philips-Empfänger haben fast alle niederohmige Ausgänge (5 Ohm).

Der Plattenspieler wird mit den entsprechenden Buchsen am Empfänger verbunden. – An der Netzendstufe muß zuerst die Geräteklappe abgenommen werden, um die Verbindung mit dem Empfänger herstellen zu können. Zwei Anschlußmöglichkeiten sind vorgesehen, von denen man den „5-Ohm-Eingang" bei niederohmigem Empfängerausgang und den 7-kOhm-Eingang bei Empfängern mit hoch-

ohmigem Ausgang wählt. Bei dem oben erwähnten Schwingspulenanschluß kommt der 5-Ohm-Eingang des Verstärkers in Betracht. Die Endstufe muß geerdet werden. Das kann bei schon vorhandener guter (!) „Erde" durch Verbinden mit der Empfänger-Erdung geschehen.



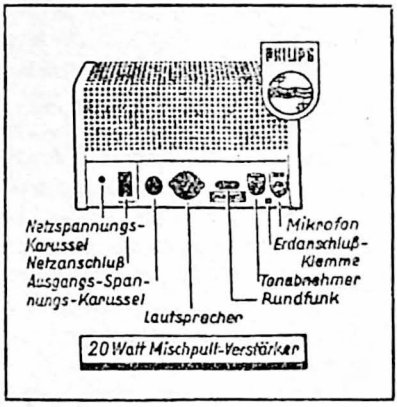
Der Verstärker hat zwei Ausgänge, für den Anschluß der Lautsprecher einen 20-Ohm-Ausgang und einen 500-Ohm-Ausgang. Welchen von beiden man wählt, hängt von den verwendeten Lautsprechern ab. Am 20-Ohm-Ausgang können z. B. 4 Stück 6-Watt-Systeme ohne Zwischentransformator in Serie geschaltet (einer hinter dem anderen, wie Männchen, die sich die Hände reichen) angeschlossen werden. Bedingung ist nur, daß die gesamte Leitungslänge nicht mehr als 5 – 10 m beträgt. Die Lautsprecher brauchen dann nicht mit einem besonderen Zwischentransformator versehen zu werden, der in anderen Fällen erforderlich ist. Durch den Verzicht auf zusätzliche Transformatoren (Übertrager) wird die Anlage natürlich verbilligt.



Werden Lautsprecher mit ein- oder angebautem Transformator verwendet, dann ist der 500-Ohm-Anschluß der Endstufe zu wählen.

Aus den dem Verkäufer zur Verfügung stehenden Listen geht hervor, welche Lautsprecher bereits mit Transformatoren (Übertragern) versehen sind; sie enthalten ferner Notizen darüber, welche Lautsprecher-Übertrager gegebenenfalls zuzuschalten sind.

Die Lautstärke und Klangfarbe wird bei Verwendung der 20-Watt-Endstufe sowohl für Rundfunkempfang als auch für Plattenspiel mit Hilfe der entsprechenden Einstellknöpfe am Empfangsgerät geregelt.



Anschluß des 20-Watt-Mischpult-Verstärkers.
Auf der Rückseite des Verstärkers befinden sich Anschlußdosen mit den Bezeichnungen „Mikrofon", „Tonabnehmer" und „Rundfunk". Um Verwechslungen zu vermeiden, sollen stets nur die jeweilig zugehörigen Gegenstecker verwendet werden; ein solcher befindet sich z. B. am Ende der Mikrofonanschlußschnur.

Die Verbindung mit dem Empfänger erfolgt über die mit „R" bezeichnete Anschlußdose unter Verwendung des mitgelieferten dreipoligen Steckers. Dabei ist in bezug auf die „Anpassung" zu beachten, daß der Ausgang des Rundfunkgerätes niederohmig sein muß. (Siehe oben.)

Die Verbindung mit dem Plattenspieler geschieht derart, daß die beiden Leitungen mit den Steckkontakten, die mit 1 und 2 bezeichnet sind, verbunden werden; 3 muß Erdverbindung haben.

Die Klemmschraube, die mit dem Erdzeichen kenntlich gemacht ist, muß mit einer guten »Erde« verbunden werden (Wasserleitung), da sonst Brummgeräusche auftreten.

Der Lautsprecher-Anschluß erfolgt mit Hilfe des mitgelieferten dreipoligen Steckers an die mit dem Lautsprecherzeichen versehene Anschlußdose des Verstärkers. Normalerweise wird der durch das Ausgangs-Spannungskarussell (zwischen Netzanschluß und Lautsprecherdose) bereits eingeschaltete 100-Volt-Anschluß verwendet. Sollen Lautsprecher ohne Transformatoren (Übertrager) angeschlossen werden, so müssen sie in Serie (hintereinander) geschaltet werden. Dabei muß der Spannungswähler entsprechend der angenäherten Gesamtohmzahl (laut besonderer Betriebsanleitung) eingestellt werden.

Bei einer Unterhaltung mit dem Kunden über Konkurrenzfabrikate mag als besonderer Vorteil des Philips-20-Watt-Mischpult-Verstärkers angeführt werden, daß er den direkten Anschluß hochwertiger Mikrofone (Tauchspulen- und Bändchen-Mikrofone) gestattet; ein besonderer Vorverstärker, der die Anlage natürlich verteuert, ist nicht erforderlich. Ein weiterer Vorteil des Verstärkers ist die Möglichkeit, zwei Übertragungsarten miteinander zu „mischen", z. B. Plattenspiel und Ansage.

Der Verstärker kann für besondere Fälle in einer Spezialausführung mit einem zweiten Mikrofonanschluß geliefert werden.

Der Kunde wird vielleicht den Verkäufer fragen, warum die Philips-Werke nur Tauchspulen-Mikrofone liefern, obwohl andere Firmen Kondensator-Mikrofone als besonders leistungsfähig hervorheben. Folgender Vorgang mag dabei erwähnenswert sein: Das Fernmeldetechnische Amt einer deutschen Großstadt beabsichtigte, eine größere Ela-Anlage aufzubauen. Es bestand unter allen Umständen auf der Lieferung von Kondensator-Mikrofonen. Die Philips-Werke haben den verantwortlichen Herren die technischen Vorzüge der Tauchspulen-Mikrofone zu erläutern versucht und darauf hingewiesen, daß sie wesentlich kleiner und stabiler sind, keinen eingebauten Vorverstärker benötigen und auch ein zusätzlicher Batteriekasten (bzw. ein sehr teures Netzspeisegerät) in Fortfall kommt. Die Vertreter unserer Firma stellten dann dem Fernmeldetechnischen Amt einige Tauchspulen-Mikrofone M 85 zur Verfügung. Sie wurden bei Opern und Musikübertragungen zusammen mit den vorhandenen Kondensator-Mikrofonen verwendet. Nicht viel später berichtete der dortige Philips-Ela-Spezialist, daß das Fernmeldetechnische Amt inzwischen die Überzeugung gewonnen hätte, daß Tauchspulen-Mikrofone den Kondensator-Mikrofonen auch qualitativ überlegen sind. Sie würden in Zukunft wohl nur noch Philips-Tauchspulen-Mikrofone in ihren Anlagen verwenden!

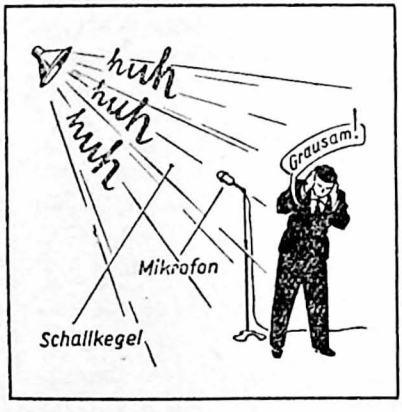
Doch kehren wir zur eigentlichen „Vorführung" zurück. Wenn alle Verbindungen sorgfältig hergestellt sind, wobei darauf geachtet werden muß, daß die verschiedenen „Strippen" nicht störend herumhängen oder herumliegen (nageln und schrauben vermeiden) legt man eine Schallplatte auf und stellt zunächst auf geringe Lautstärke ein, um sich zu überzeugen, daß alles in Ordnung ist. Dann erst wird der Lautstärkeregler aufgedreht (aber nicht zu weit!) Größere Lautstärken soll man nur auf besonderen Wunsch des Kunden einregeln.

Es ist besonders wichtig, daß während des Spiels nicht dauernd an den Bedienungsknöpfen gedreht wird, die einmal gewählte Lautstärke und Klangfarbe soll bis zum Ablauf der Platte bestehen bleiben. Der Kunde soll in Ruhe zuhören können. Man wird

es schon merken, wenn er ungeduldig wird. Erklärungen in ruhiger, höflicher und kurzer Form unter Vermeidung von allzuviel „Technischem" können später gegeben werden.

Erst nach gelungener Plattenvorführung auf „Rundfunkempfang" schalten (Ortssender). Gleiche Gesichtspunkte wie oben berücksichtigen. – Anschließend (gegebenenfalls) das Mikrofon im Betrieb vorführen. Stets Tischständer oder Bodenstativ verwenden. – Die Verbindungsleitung zum Verstärker muß abgeschirmt sein (Spezialkabel). Nur den mitgelieferten Anschlußstecker benutzen!

Die Mikrofone enthalten einen eingebauten, umschaltbaren Anpassungsübertrager (Transformator). Wird die zugehörige 5 m lange Mikrofonleitung benutzt, so muß das Mikrofon so aufgesteckt werden, daß der Pfeil auf „10 000 Ohm" zeigt. – Das Mikrofon darf nicht besonders geerdet werden. (Die Erdung erfolgt durch die dritte Leitung am Verstärker.)



Bei der Aufstellung des Mikrofons ist darauf zu achten, daß es nicht in den Schallkegel des Lautsprechers gerät, sonst könnte durch akustische Rückkopplung ein laut heulender Ton die Folge sein. Das macht beim Kunden natürlich keinen guten Eindruck.

Der Klangfarbenregler soll bei Schallplattenübertragungen nach „dunkel" hin eingeregelt werden (jedoch nicht auf die äußerste Einstellung). Das Nadelrauschen kann dadurch herabgesetzt werden. Bei Sprachübertragung hingegen soll immer mit „hellster" Einstellung gearbeitet werden.

Weiterhin ist darauf zu achten, daß die Lautsprecher nicht „übersteuert" werden (Lautstärkeregelung). Ein 3-Watt-Lautsprecher darf nicht mit 5 oder 6 Watt belastet werden. Im Vergleich: aus einer Mundharmonika läßt sich nicht die Lautstärke einer Orgel herausholen; ein zu kräftiges Blasen verzerrt lediglich die Töne der Harmonika.

Die Zubehör-Frage ist nicht unwichtig, denn nur bei Verwendung geeigneten Materials kann für Betriebssicherheit garantiert werden. Stets Philips-Zubehörteile empfehlen! Die oft sehr schwachen Spannungen oder Ströme (z. B. im Mikrofonkreis) stellen besondere Anforderungen an die Qualität der verwendeten Steckverbindungen. Philips hat aus diesem Grunde ein Programm an Steckern, Kupplungen und Anschlußdosen zusammengestellt, bei dem die besonderen Anforderungen der Elektro-Akustik berücksichtigt werden. Obwohl diese Zubehörteile preislich verhältnismäßig hoch liegen, werden sie doch immer mehr verwendet: die besten Geräte einer Übertragungsanlage verfehlen ihren Zweck, wenn durch schlechte Verbindungen Störungen auftreten.

Nach gelungener Vorführung das Eisen schmieden, solange es warm ist! Möglichst gleich den Auftrag zum Abschluß bringen, denn das ist der eigentliche Zweck der Vorführung. Falsch ist es, die Anlage dem Interessenten mehrere Tage zur kostenlosen Benutzung zu überlassen. Erfahrungsgemäß ist das Kaufinteresse nach Ablauf einer gewissen Zeit geringer.

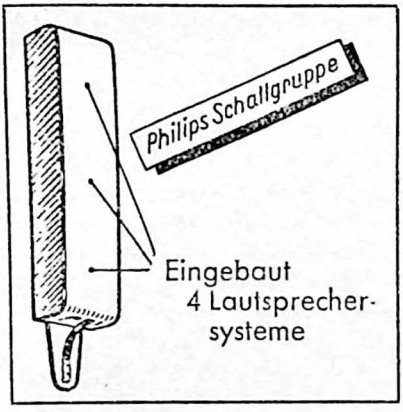
Auf die Raumverhältnisse, die bei allen elektroakustischen Anlagen eine ausschlaggebende Rolle spielen, muß noch kurz eingegangen werden. — Dem Kunden muß erklärt werden, daß der Wiedergabeeindruck im menschenleeren Saal ein anderer ist als im vollbesetzten. Im ersten Fall ist der Nachhall größer. Auch aus diesem Grunde soll man gelegentlich einer Vorführung im leeren Raum nicht zu laut einstellen. Bei menschengefülltem Saal wiederum muß die Lautstärke vergrößert werden, damit die vom Publikum herrührenden Geräusche übertönt werden. Natürlich sind hier Grenzen gesetzt, die vom persönlichen Empfinden diktiert werden.

In geschlossenen Räumen werden die Schallwellen von den Wänden und der Decke reflektiert und erreichen auf einem zweiten längeren Weg das Ohr des Hörers noch einmal (Nachhall). Allerdings werden die auftreffenden Schallwellen von den Wänden und der Decke bis zu einem gewissen Grad verschluckt. Die Stärke dieser Absorption, die einer Dämpfung gleichkommt, ist entscheidend für die akustischen Eigenschaften eines Raumes (Leider werden die hohen Töne im allgemeinen wesentlich stärker gedämpft als die tiefen.)

Hat ein Raum sehr glatte Wände, wie zum Beispiel ein gekacheltes Schwimmbad, dann pendeln die Schallwellen oft mehrere Sekunden zwischen Decke und Wasserfläche, bzw. zwischen den Wänden hin und her. Dadurch wird ein langer Nachhall erzeugt. Die Folge ist ein starkes Absinken der Sprachverständlichkeit, die Sprache wird bereits in einem verhältnismäßig geringen Abstand vom Redner undeutlich. Um trotzdem in Räumen mit starkem Nachhall einwandfreie Übertragungen durchführen zu können, muß eine künstliche Dämpfung vorgenommen werden. Schalldämpfendes Material, im Raume angebracht, an den Wänden oder der Decke befestigt, hilft. Die Raumakustik kann durch solche Maßnahmen stark beeinflußt werden. Man darf andererseits mit der künstlichen Schalldämpfung nicht zu weit gehen, vor allem nicht bei musikalischen Darbietungen: In einem Konzertsaal z B., in dem sich zahlreiche Polstermöbel oder schwere Vorhänge befinden, geht die Brillanz der Instrumente verloren.

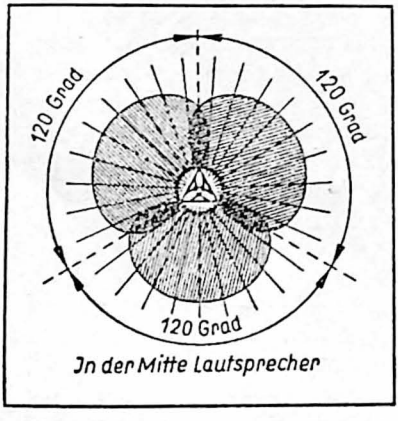
Nicht immer sind schalldämpfende Verkleidungen möglich, wie z. B. in Schwimmbädern, Turnhallen und nicht zuletzt in hochgewölbten Kirchen. Überhaupt gehört das Innere von Kirchen zu den akustisch schwierigsten Räumen. Der Nachhall ist hier sehr groß, so daß es nicht ohne weiteres möglich ist, die Stimme des Predigers einfach mit Hilfe von Mikrofon, Verstärker und eingebauten Lautsprechern anzuheben. Sobald nämlich die Wiedergabelautstärke einen gewissen Wert übersteigt, wird die gesamte Luftsäule angestoßen und ein sehr starker Nachhall ausgelöst.

Philips hat für die akustische Verbesserung in Kirchen und anderen akustisch ungünstigen Räumen besondere S c h a l l g r u p p e n entwickelt: Durch eine bestimmte Anordnung mehrerer Laut-



sprechersysteme wurde erreicht, daß der Schallkegel in Richtung auf den Hörer abgestrahlt wird. Das Verhältnis zwischen dem direkten und dem reflektierten Schall wird bei Verwendung dieser Schallgruppen günstiger. Die Praxis hat gezeigt, daß selbst in Räumen mit großer Nachhallzeit durch den Einbau von „Schallgruppen" auch auf den entfernteren Plätzen gute Verständlichkeit zu erzielen ist.

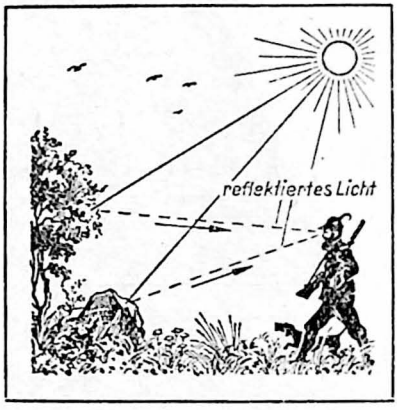
Im Freien ist die Schalldämpfung am größten. Für Anlagen unter freiem Himmel muß deshalb eine größere Verstärkerleistung vorgesehen werden. Doch auf Einzelheiten wollen wir hier nicht eingehen. Nur so viel, daß Philips neben den bisher erwähnten Lautsprechern und Lautsprecher-Kombinationen Gruppenstrahler für Freianlagen entwickelt hat. Sie gewährleisten durch die besondere Art der Schallabstrahlung hohe Übertragungsgüte und lassen sich leicht den jeweiligen akustischen Verhältnissen anpassen.



Der Strahler enthält bis zu drei Lautsprechergruppen, von denen jede einen Winkelausschnitt von ungefähr 120° beschallt. Die Gruppen bestehen aus zwei Einzellautsprechern mit einer Belastbarkeit von je 3 Watt. Sie sind zusammen mit einem Anpassungsübertrager senkrecht übereinander angeordnet und auf einer Schallwand mit geringem Neigungswinkel montiert. Jede Gruppe läßt sich gesondert einschalten.

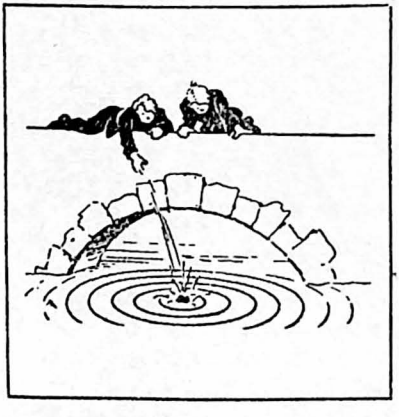
IV. Licht und Beleuchtung

A) ALLGEMEINES

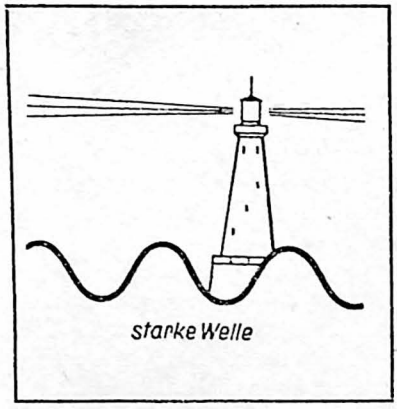


1. Lichtwellen

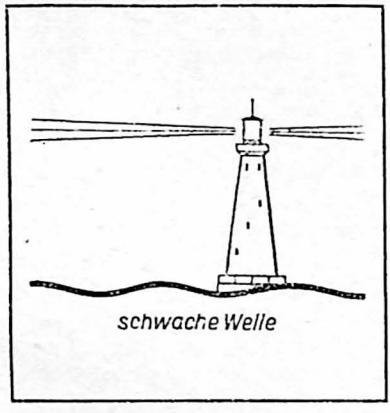
Treffen gewisse Ätherschwingungen, die weiter unten eingehender behandelt werden, unser Auge, dann haben wir den Eindruck: „Licht". Dabei ist es einerlei, ob die von der Lichtquelle ausgehenden Wellen direkt oder indirekt auf die Sehnerven einwirken. Der erzeugte Licht- oder Helligkeitseindruck wird im allgemeinen durch reflektiertes Licht hervorgerufen. Die Umgebung des Beobachters wird „beschienen"; Wiesen, Felder, Wege, Straßen, Häuser werfen die auftreffenden Strahlen zurück: es ist hell ringsum. Stellen wir uns vor, wir befänden uns im leeren Weltenraum: es würde dunkel um uns sein, denn nichts wäre da, was vom Licht getroffen würde, es seien denn ferne Sterne, der Mond, der Erdball. — Wir sprachen von „gewissen Ätherschwingungen". Nun: beim Licht handelt es sich um Wellenbewegungen des Äthers, eines unsichtbaren, alles durchdringenden Etwas. Der Äther ist allüberall, auch dort, wo die Erdatmosphäre aufhört. Er füllt den ganzen Weltenraum.



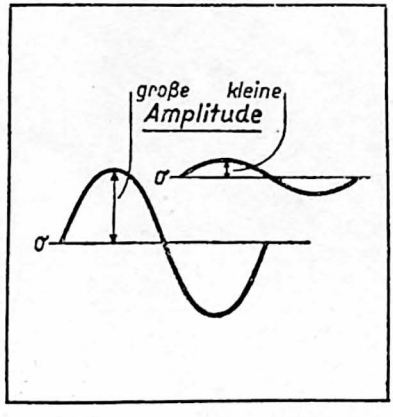
Lichtwellen sind Wellen ähnlich jenen, die man erzeugen kann, wenn man einen Stein auf eine ruhige Wasserfläche wirft. Beim Wasser ist die Steineinwurfstelle die „Erregerstelle", bei den Lichtwellen ist es z. B. die Sonne, ist es eine Lampe, welche den Äther zu Schwingungen (oder zur Wellenbildung) anregt.



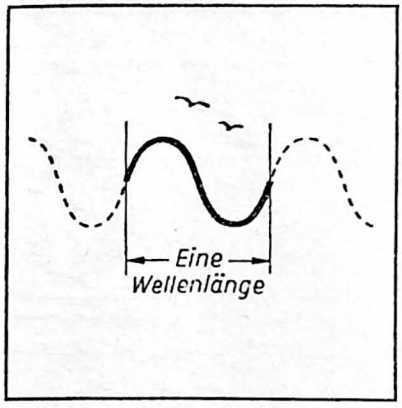
War die Erregung stark, dann entstehen starke, steile Wellen, mit hohen Wellenbergen und tiefen Wellentälern, ähnlich den Wasserwellen auf hoher See bei starkem Wind.



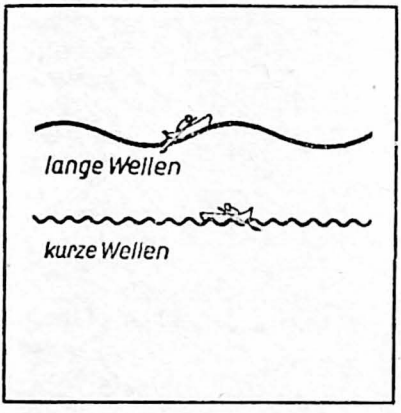
War die ursprüngliche Erregung nur schwach, dann breiten sich auch nur schwache Wellen aus, mit flachen Bergen und Tälern, wie im Meer bei ruhiger See.



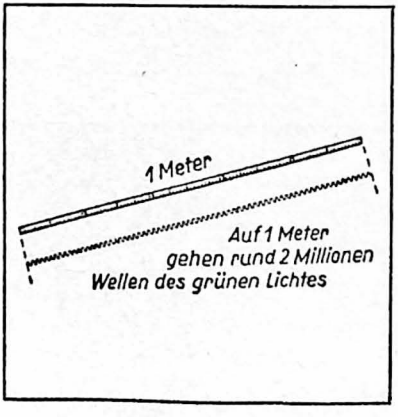
Der Techniker kennzeichnet die Stärke einer Welle, indem er von einer größeren oder kleineren „Amplitude" spricht.



Es gibt ein weiteres Unterscheidungsmerkmal: die Wellenlänge. Unter einer „Wellenlänge" versteht man die Entfernung vom Anfang eines Wellenberges bis zum Ende des nachfolgenden Wellentales.



So gibt es „lange" und „kurze" Wellen. Das gilt nicht nur für die sichtbaren Wasserwellen, sondern ebenso für die unsichtbar schwingenden Ätherwellen, also auch für Lichtstrahlen.

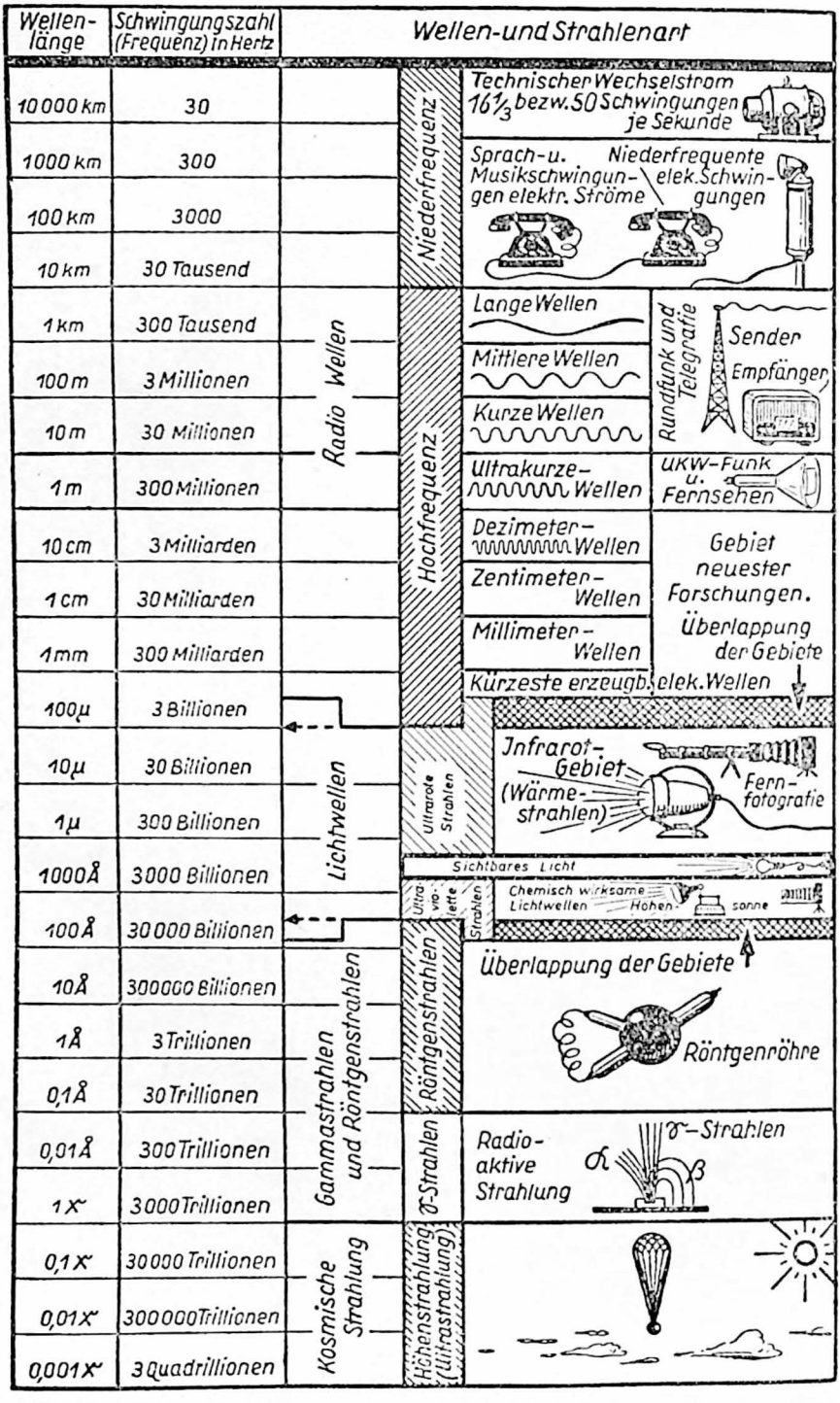


Lichtwellen sind außerordentlich kurz, sie haben „Längen" in der Größenordnung zwischen 0,40 und 0,76 Mikron. Ein Mikron, das man mit dem griechischen Buchstaben μ (sprich mü) bezeichnet, ist eine Längenbezeichnung wie das Meter, das Zentimeter oder das Millimeter, nur daß es zum Messen wesentlich kürzerer Strecken benutzt wird:

$$1\ \mu_{(1\ \text{Mikron})} = \frac{1}{1000}\ \text{mm} = \frac{1}{1000000}\ \text{m}$$

Ein noch kleineres Maß ist das Millimikron ($m\mu$), der tausendste Teil eines Mikrons.

$$1\ m\mu_{(1\ \text{Millimikron})} = \frac{1}{1000}\ \mu = \frac{1}{1000000}\ \text{mm}$$

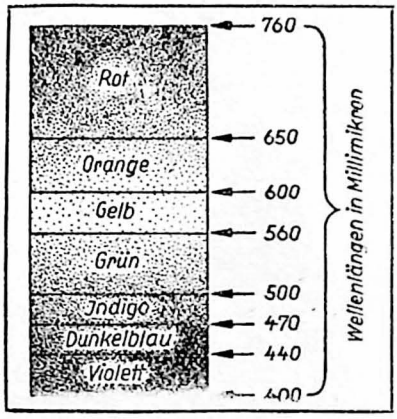

Wellen-länge
Schwingungszahl (Frequenz) in Hertz
Wellen- und Strahlenart
10 000 km
30
1000 km
300
100 km
3000
10 km
30 Tausend
1 km
300 Tausend
100 m
3 Millionen
10 m
30 Millionen
1 m
300 Millionen
10 cm
3 Milliarden
1 cm
30 Milliarden
1 mm
300 Milliarden
100 µ
3 Billionen
10 µ
30 Billionen
1 µ
300 Billionen
1000 Å
3000 Billionen
100 Å
30 000 Billionen
10 Å
300000 Billionen
1 Å
3 Trillionen
0,1 Å
30 Trillionen
0,01 Å
300 Trillionen
1 X
3000 Trillionen
0,1 X
30000 Trillionen
0,01 X
300000 Trillionen
0,001 X
3 Quadrillionen
Radio Wellen
Lichtwellen
Gammastrahlen und Röntgenstrahlen
Kosmische Strahlung
Niederfrequenz
Hochfrequenz
Ultrarote Strahlen
Ultra violette Strahlen
Röntgenstrahlen
γ-Strahlen
Höhenstrahlung (Ultrastrahlung)
Technischer Wechselstrom 16⅔ bezw. 50 Schwingungen je Sekunde
Sprach- u. Musikschwingungen elektr. Ströme
Niederfrequente elek. Schwingungen
Lange Wellen
Mittlere Wellen
Kurze Wellen
Rundfunk und Telegrafie
Sender
Empfänger
Ultrakurze-Wellen
UKW-Funk u. Fernsehen
Dezimeter-Wellen
Zentimeter-Wellen
Millimeter-Wellen
Gebiet neuester Forschungen.
Überlappung der Gebiete
Kürzeste erzeugb. elek. Wellen
Infrarot-Gebiet (Wärmestrahlen)
Fernfotografie
Sichtbares Licht
Chemisch wirksame Lichtwellen
Hohensonne
Überlappung der Gebiete
Röntgenröhre
Radioaktive Strahlung
α
β
γ-Strahlen

Gemessen in Millimikron haben die Lichtwellen „Längen" zwischen 400 und 760 mμ (Millimikron). Sie sind also wesentlich kürzer als ihre Schwestern, die Rundfunkwellen, deren kürzeste, die Ultrakurzwellen, Längen zwischen 1 und 10 Metern aufweisen, während die „normalen" Rundfunkwellen zwischen ca. 185 und 580 Metern messen.

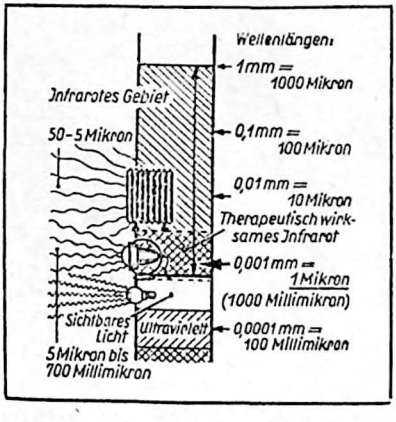
Dem Auge bleiben diese Wellen als solche unsichtbar, denn es bemerkt ja nicht einmal die Schwankungen des Lichtes unserer Lampen, die an einem mit 50 Schwingungen je Sekunde arbeitenden Wechselstromnetz betrieben werden. Wie sollte es also Billionen Schwingungen wahrnehmen können? Das Auge empfängt nur die durch die Lichtwellen übertragene Energie. Diese Energie der Wellen ist es, die sich als Strahlung bzw. Licht auswirkt.

Rundfunkwellen und Lichtwellen sind „elektromagnetische Schwingungen". Es würde an dieser Stelle zu weit führen, zu erklären, woher diese Bezeichnung rührt. Nur so viel, daß es ein ganzes „Band" („Spektrum") elektromagnetischer Wellen gibt, ein Band, beginnend bei den längsten Wellenarten, endend mit den kürzesten. Zu den „elektromagnetischen Wellen" gehören außer den Rundfunkwellen und den Lichtwellen u. a. die Röntgenwellen und die Wellen der kosmischen Strahlung. Die Tafel gibt das ganze Wellenband wieder. Die Wellen des sichtbaren Lichtes nehmen darin nur einen sehr kleinen Bereich ein. In der Tafel sind neben den Wellenlängen die sekundlichen Schwingungszahlen angegeben. Sie ergeben sich aus der Wellenlänge und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen. Sie beträgt 300 000 km in der Sekunde.

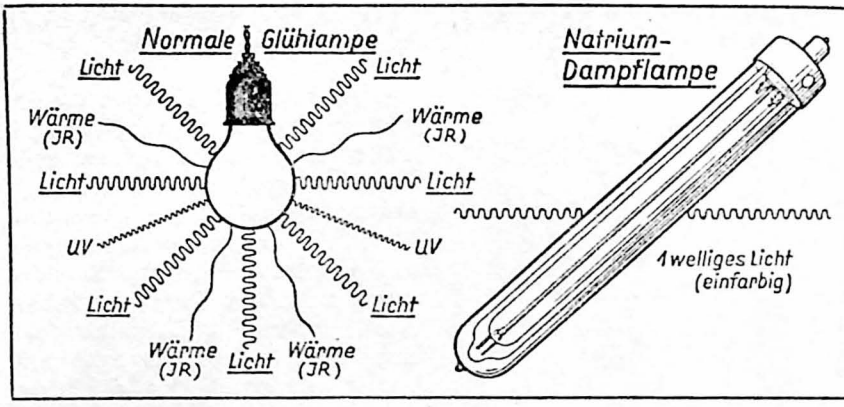
PHILIPS



Weißes Licht setzt sich aus Wellen verschiedener Längen zusammen. Jeder Farbe, jedem Farbton entspricht eine ganz bestimmte Wellenlänge. Die Wellen des roten Lichtes sind länger als die des grünen oder blauen Lichtes. Die kürzesten sichtbaren Lichtwellen haben eine Länge von 400 Millimikron, die längsten sind 760 Millimikron „lang". Das Wellenband des sichtbaren Lichtes wird durch nebenstehende Zeichnung veranschaulicht. Das Zusammenwirken der vielen Lichtwellen des ganzen Bandes ruft den Eindruck „weißes Licht" hervor.



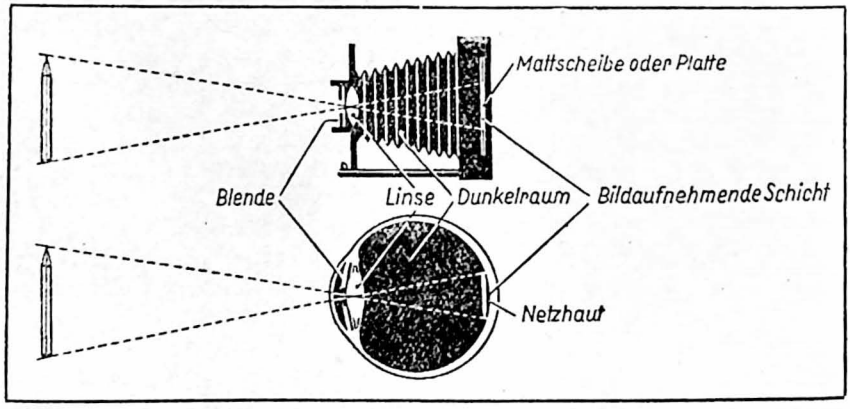
Langsamere Ätherschwingungen, Wellen größerer Länge als 760 Millimikron, werden vom menschlichen Sehapparat nicht mehr aufgenommen, wohl aber vom Gefühlssinn: Wärmewellen. Der Physiker bezeichnet den über das sichtbare Rot hinausgehenden Wellenbereich — über 760 mμ — mit „Ultrarot"- oder „Infrarot"-Gebiet (Infrarot abgek.: IR) — Infrarot wird neben sichtbarem Licht z. B. von dem Infraphil-Strahler bevorzugt abgestrahlt. — Über das violette Licht mit Wellenlängen von 400 Millimikron (in der entgegengesetzten Richtung) hinaus schwingen die schnellen unsichtbaren Wellen des „Ultravioletten Lichtes". (Kurz: UV-Strahlung.)

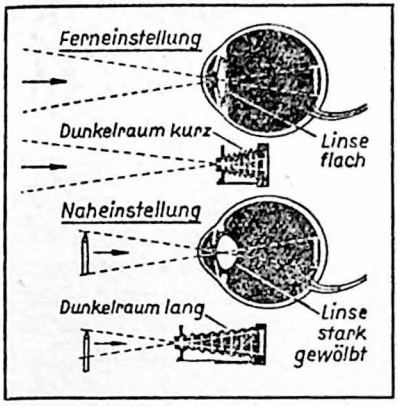


Eine normale Glühlampe strahlt neben dem sichtbaren Licht infrarote Wellen und auch schwache UV-Wellen ab. Es gibt aber Strahler, die Licht fast nur e i n e r Wellenlänge aussenden, z. B. Natriumdampflampen. Wir werden später diese „Ein-Wellen-Strahler" (Luminiszenz-Strahler) im Gegensatz zu den Temperatur-„Strahlern" eingehender behandeln.

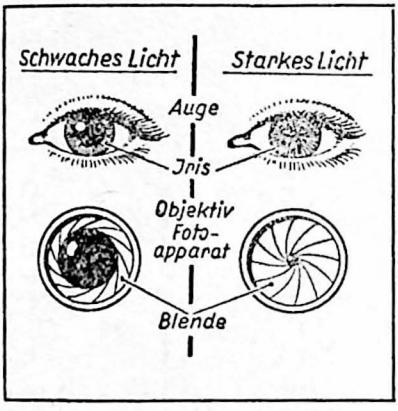
2. Das menschliche Auge und seine Funktionen

Das menschliche Auge und der Gesichtssinn vermögen — wie vorher schon gesagt — Ätherschwingungen mit Wellenlängen zwischen 0,40 und 0,76 Mikron als Lichteindrücke aufzunehmen. — Der Aufbau des Auges ähnelt dem eines Fotoapparates mit Blende, Linse, Dunkelraum und lichtempfindlicher Schicht. Gegenüber der toten Materie des Fotoapparates ist das lebende Auge unendlich viel feiner und komplizierter aufgebaut.

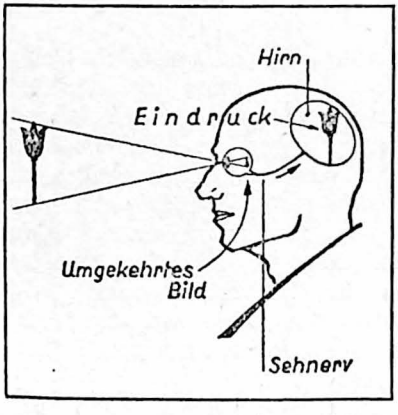




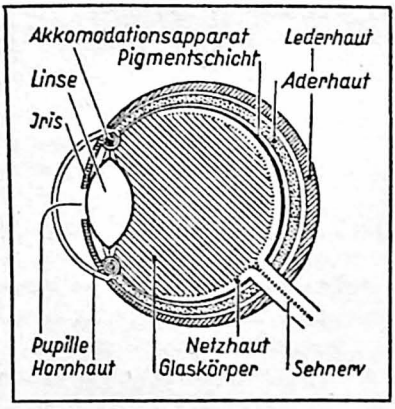
Die Linse des Auges stellt sich automatisch „scharf" ein. Das Auge „akkomodiert" (vom lat. accomodare = anpassen). Das geschieht dadurch, daß der Linsenkörper sich stärker oder schwächer wölbt, stärker beim Betrachten naher Gegenstände, schwächer beim Indiefernesehen. — Beim Fotoapparat bedarf es einer jeweiligen mechanischen Entfernungseinstellung.



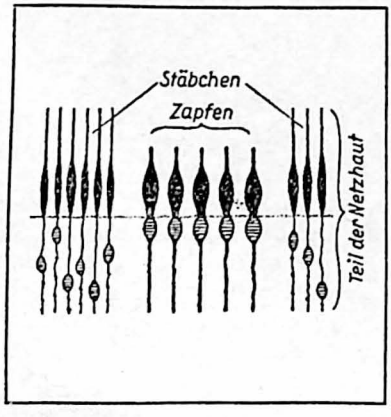
Beim Fotoapparat dient eine einstellbare „Blende" zur Abhaltung zu starken Lichtes; sie wird nur bei schwachem Licht ganz geöffnet. Die Blende des Auges, d. h. die Iris, die das Sehloch, die Pupille, umgibt, weitet sich oder engt sich ein, je nachdem ob die Lichtstärke stark oder schwach ist. Zudem verhindert die Abblendvorrichtung des Auges (wie die des Fotoapparates) den Einfluß störender Randstrahlen, die das Bild nach den Rändern hin unscharf machen.



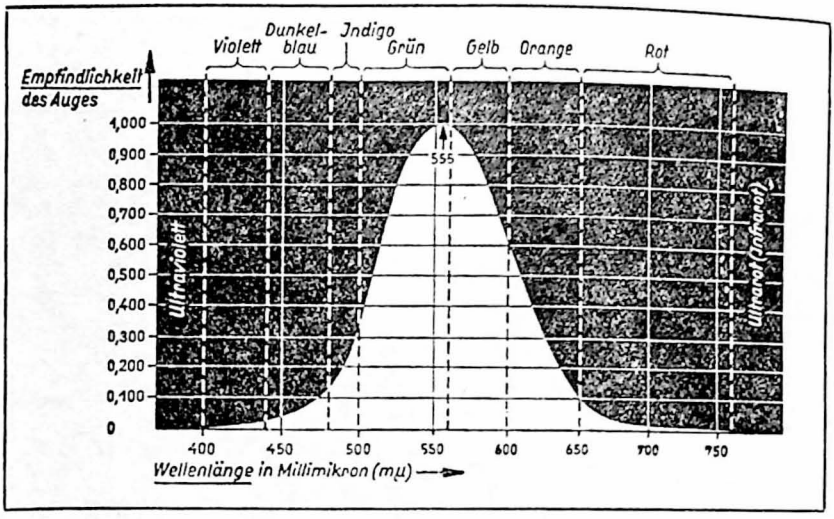
Auf der Netzhaut entsteht ein umgekehrtes Bild, das durch die Hirntätigkeit aufrecht gestellt wird. Versuche, bei denen das Netzhautbild durch besondere vor das Auge gesetzte Linsen, von vornherein „richtig" entworfen wird, haben gezeigt, daß man nach einiger Zeit auch diese Bilder „normal" sieht.



Die lichtempfindliche Schicht der Fotoplatte (bzw. die Mattscheibe) findet im Auge einen besseren Ersatz durch die Netzhaut. Diese enthält die feinsten Ausläufer des Sehnerves, die Stäbchen und Zapfen.



Je nach den auftretenden Helligkeitswerten werden die stäbchenförmigen Nervenelemente verschieden stark gereizt. Sie sind nur hell-dunkel-empfindlich (Schwarz-Weiß-Bilder). Die anderen, zapfenartigen Sinneszellen, die sich in der Netzhautmitte befinden, werden von den Farbreizen erregt. Die Summe der Reize wird durch den zum Gehirn führenden Sehner weitergeleitet.



Farben lassen sich nur bei relativ hohem Helligkeitsgrad wahrnehmen. Überdies ist das Auge für die verschiedenen Farbwerte verschieden empfindlich, wie die grafische Darstellung und (mit genaueren Werten) die Tabelle zeigt. — Beim Sehen in der Dämmerung verschiebt sich das Maximum der spektralen Empfindlichkeit des Auges nach kürzeren Wellenlängen hin und liegt bei etwa 510 Millimikron; blau wird dann relativ heller, rot dunkler als bei normalem Tageslicht. Die Maximal-Empfindlichkeit der Hell-Dunkel-Stäbchen liegt bei 0,510 Mikron. — Die Farbempfindung ist nach dem voraufgegangenen eine optisch-psychologische Erscheinung.

Hellempfindlichkeit eines Normalbeobachters bei verschiedenen Wellenlängen (festgesetzt von der Internationalen Beleuchtungskommission).

Wellenlänge in mμ	Empfindlichkeit	Wellenlänge in mμ	Empfindlichkeit
400	0,0004	580	0,870
410	0,0012	590	0,757
420	0,0040	600	0,631
430	0,0116	610	0,503
440	0,023	620	0,381
450	0,038	630	0,265
460	0,060	640	0,175
470	0,091	650	0,107
480	0,139	660	0,061
490	0,208	670	0,032
500	0,323	680	0,017
510	0,503	690	0,0082
520	0,710	700	0,0041
530	0,862	710	0,0021
540	0,954	720	0,00105
550	0,995	730	0,00052
555	1,000	740	0,00025
560	0,995	750	0,00012
570	0,952	760	0,00006

B) LICHTTECHNISCHE GRUNDGRÖSSEN

1. Die Lichtleistung: der Lichtstrom

Überall kommt es auf die Leistung an, bei den Menschen wie bei den Maschinen. Man fragt: was leistet Herr Mayer? Man fragt ebenso nach der Leistung eines Motors, einer Dampfmaschine, eines Windrades. In der Technik dienen bestimmte Maße zur Beurteilung der jeweiligen Leistungswerte; da gibt es z. B. das PS (die Pferdestärke) und in der Elektrotechnik das Watt (bzw. das Kilowatt). Ein Automotor hat z. B. eine Leistung von 35 PS, ein Generator eine solche von 300 Kilowatt.

Neben den eben erwähnten Leistungsmaßen gibt es andere, dem Nichttechniker weniger bekannte, die in besonderen Fällen und für besondere Gebiete Anwendung finden. Uns interessiert hier vor allem das Maß für die Lichtleistung.

Doch zuvor: Was versteht man unter dem Begriff der Leistung? — Leistung ist technisch-physikalisch gesehen Arbeit in der Zeiteinheit. Man kann eine Arbeit dehnen und viel Zeit für sie aufwenden, man kann die gleiche Arbeit auch schnell tun, in kürzerer Zeit. Im ersten Fall ist die Leistung geringer als im zweiten.

Daß Licht ebenso Arbeit leistet wie etwa der Wind, der ein Windrad, wie das Wasser, das eine Turbine antreibt, geht — wenn auch nicht so drastisch erkennbar — z. B. daraus hervor, daß es die Sehnerven der Augen anregt oder daß es chemische Änderungen fotografischer Schichten hervorruft oder daß es in sogenannten Fotozellen elektrischen Strom erzeugt. Der Lichtarbeit entspricht eine Lichtleistung; man nennt sie „Lichtstrom".

Der Lichtstrom ist die von einer Lichtquelle ausgestrahlte und nach der international festgelegten Augenempfindlichkeit bewertete Lichtleistung. Die Einheit des Lichtstromes ist das „Lumen", abgekürzt „lm".

Lichtstrom
= Leistung des Lichtes
Einheit:
Lumen (lm)

Der Ausdruck „Lichtstrom" könnte dazu verführen, an den elektrischen Strom zu denken, der, z. B. einer Glühlampe zugeführt, Licht erzeugt. Aber der hier gemeinte „Lichtstrom" hat nicht das geringste mit dem elektrischen Strom zu tun: die Lichtleistung irgendeiner Lichtquelle, sei es die einer Petroleumlampe, einer Kerze, einer Gasflamme, wird mit „Lichtstrom" bezeichnet und in „Lumen" gemessen.

Es bedarf danach kaum noch der Erwähnung, daß die in Watt gemessene Leistung des elektrischen Stromes, der modernes Hilfsmittel zur Erzeugung von Licht ist, sei es in der Glühlampe, in der Leuchtstofflampe oder in der Bogenlampe, nicht mit dem „Lichtstrom" verwechselt werden darf.

Andererseits hängt der Wert des Lichtstromes (der Lichtleistung) bei elektrischen Lampen von der zugeführten elektrischen Leistung ab und wächst mit dieser an, ähnlich wie der von einem Ventilator erzeugte Luftstrom stärker ist, wenn die dem Antrieb zugeführte elektrische Leistung erhöht wird. — Es ist überall und immer so: soll ein anständiges Resultat erzielt werden, dann muß die aufgewendete Leistung einen entsprechenden Wert haben. Eine Leuchtturmlampe braucht mehr Petroleum als eine Kellergangleuchte, ein elektrischer Scheinwerfer mehr zugeführte Leistung als eine Taschenlampe. Etwas anderes muß hier noch hinzugefügt werden, daß nämlich die abgegebene Leistung von der Konstruktionsgüte einer Maschine oder einer Lampe abhängt. Je besser ein Motor ist, je besser eine Lampe ist, um so besser, d. h. größer, ist auch das Verhältnis zwischen abgegebener und zugeführter Leistung; die bei den Energieumwandlungen „elektrischer Strom — mechanische Arbeit" oder „elektrischer Strom — Licht" auftretenden Verluste sind dann geringer.

Die folgende Tabelle gibt an, wie groß die Lichtleistung, der Lichtstrom, normaler Glühlampen verschiedener Größenordnung ist.

Lichtstrom von PHILIPS-Allgebrauchslampen

Leistungsaufnahme in Watt	Lichtstrom (Lichtleistung) in Lumen	
	bei 110 Volt	bei 220 Volt
15	139	126
25	262	239
40	500	432
60	830	738
75	1 095	968
100	1 580	1 380
150	2 400	2 125
200	3 295	3 045
300	5 160	4 815
500	9 350	8 450
1000	21 200	18 800
2000	42 400	37 600

Man erkennt aus dieser Zusammenstellung u. a., daß die Lichtleistung keineswegs im gleichen Verhältnis wie die elektrische Leistung ansteigt, sonst müßte der Lichtstrom bei 60 Watt (220 Volt) zugeführter elektrischer Leistung nur viermal so groß sein wie bei 15 Watt und statt 738 Lumen nur 504 Lumen betragen. Bei der 300-Watt-Lampe verglichen mit der 15-Watt-Lampe wird der Unterschied noch deutlicher: der Lichtstrom hat bei ihr den Wert von 4815 erreicht, während er bei gleichmäßig (proportional) mit der elektrischen Leistung anwachsender Lichtleistung nur 2500 Lumen betragen, d. h. etwa halb so groß sein würde. Eine 1500-Watt-Glühlampe gibt sogar die 235fache Lichtleistung einer 15-Watt-Lampe ab. Die abgegebene Lichtleistung nimmt viel schneller zu als die zugeführte elektrische Leistung.

Die Wattangaben der elektrischen Lampen sagen also nichts Konkretes über ihre Lichtleistung aus. Besonders augenfällig wird das beim Vergleich einer 40-Watt-Leuchsttofflampe mit einer 40-Watt-Glühlampe: der Lichtstrom der Glühlampe beträgt nur ein Drittel desjenigen der Leuchtstofflampe!

Der „Lichtstrom" ist ein wesentlicher Faktor bei der Gütebeurteilung von Lichtquellen, da er das Maß für das Licht ist, das eine Lampe in den ganzen sie umgebenden Raum verströmt. Dieses Lichtverströmen gab der Lichtleistung den Namen.

2. Die Lichtausbeute

Wenn das Verhältnis der Leistungsabgabe elektrischer Lichtquellen, d. h. des Lichtstromes, zu ihrer Leistungsaufnahme ausgedrückt werden soll, so benutzt man zur Angabe der jeweiligen Größenordnung das Maß der „Lichtausbeute".

Ähnlich wie der Goldgräber angibt: „Die Ausbeute beträgt 1 Kilogramm Gold je Tonne Sand" (was — nebenbei — ein phantastischer Wert wäre), sagt der Lichttechniker z. B.: „Die Ausbeute beträgt 1 Lumen je Watt" und meint damit die Lichtausbeute einer bestimmten Lichtquelle.

Lichtausbeute
= Lichtstrom je Watt
Einheit:
Lumen je Watt (lm/W)

Die Lichtausbeute einer 15-Watt-Lampe beträgt entsprechend den Zahlenwerten der voraufgegangenen Lichtstromtabelle bei 110 Volt:

$$\frac{139\ (\text{lm})}{15\ (\text{W})}$$

gleich rund 9 Lumen je Watt (lm/W). Die Lichtausbeute einer 100-Watt-Lampe für 220 Volt errechnet sich in gleicher Weise zu rund 14 lm/W, die einer 1000-Watt-Lampe (220 Volt) zu rund 19 lm/W. Die Tabelle gibt die Lichtausbeute-Werte der gebräuchlichsten 110- und 220-Volt-Glühlampen an.

Lichtausbeute von PHILIPS-Glühlampen

Leistungsaufnahme in Watt	Lichtausbeute in lm/W bei 110 Volt	bei 220 Volt
15	9,3	8,4
25	10,5	9,6
40	12,5	10,8
60	13,8	12,3
75	14,6	12,9
100	15,8	13,8
150	16,0	14,2
200	16,5	15,2
300	17,2	16,1
500	18,7	16,9
1000	21,2	18,8
2000	21,2	18,8

Bei den Leuchtstofflampen, die später eingehender behandelt werden, ist die Lichtausbeute wesentlich besser als bei den normalen Glühlampen. Die entsprechenden Werte liegen hier zwischen 32 und 47 Lumen je Watt. Die Natriumlampen, die allerdings nur einfarbiges Licht abstrahlen, haben die beste Lichtausbeute, sie beträgt bis zu 67 lm/W.

Aber selbst bei den besten Lampen wird nur ein Bruchteil der zugeführten Leistung in Lichtstrahlung umgewandelt. Theoretisch — — wohlgemerkt theoretisch — liegt das Höchstmaß an Lichtstrom, das bei einem Watt zugeführter elektrischer Leistung erreicht werden könnte, bei 682 Lumen (entsprechend einer Lichtausbeute von 682 lm/W). — Bei der normalen Glühlampe besteht ein großer Teil der Verluste aus gleichzeitig mit dem Licht abgestrahlter Wärme; eine durchaus unerwünschte, energieraubende Beigabe.

Wird Strom durch den Glühfaden einer Lampe geschickt, so setzt sich die zugeführte Energie zuerst nur in Wärme um; mit zunehmender Temperatur wird der Faden erst rot-, dann weißglühend, strahlt also Licht ab! Die Lichtabstrahlung wächst sogar schneller an als die Temperatur des Glühfadens. Eine Glühlampe ist daher um so wirtschaftlicher, je stärker der Glühfaden erhitzt wird. Aber natürliche Grenzen gestatten es dem Lichttechniker nicht, über eine gewisse Temperatur hinauszugehen.

Der Glühdraht der 220-Volt-Lampen hat einen größeren Widerstand, er ist länger und dünner als der von 110-Volt-Lampen gleicher Leistung und hat infolgedessen eine geringere mechanische Festigkeit. Deshalb

kann der 220-Volt-Glühdraht nicht auf dieselbe Temperatur gebracht werden wie der 110-Volt-Glühdraht. So kommt es, daß die Lichtausbeute der 220-Volt-Glühlampen etwas niedriger liegt.

Um eine möglichst große „Lichtausbeute" zu erhalten, muß dafür gesorgt werden, daß von der Wärme des Glühfadens möglichst wenig an die Außenluft abgegeben wird. Der luftleere Raum im Innern einer Glühlampe, das „Vakuum", verhindert die Wärmeübertragung vom Glühfaden zum Glaskolben in starkem Maße. Leider hat das Vakuum einen gewissen Nachteil: Während des Brennens lösen sich winzige Teilchen des Glühfadens los, die gegen die Glaswandung geschleudert werden. Sie rufen mit der Zeit eine Schwärzung des Glaskolbens hervor; gleichzeitig wird der Glühfaden immer dünner. Der luftleere Raum begünstigt diese „Verdampfung" des Glühfadens, denn es lastet kein Druck auf dem Glühfaden.

Die Tabelle gibt die Lichtausbeute verschiedenartiger Lichtquellen an:

Lichtquelle	Lichtausbeute lm/W ca.
Paraffinkerze	0,1 . . . 0,2
Petroleumlampe	0,2 . . . 0,3
Gas-Glühlicht	1,1 . . . 2,1
Niederdruck-Gaslicht	1,3
Normale Glühlampen (15 W . . . 100 W)	10 . . . 16
Bogenlampe	20 . . . 30
Quecksilberdampflampe	32 . . . 42
Leuchtstofflampe	32 . . . 47
Natriumlampe	40 . . . 67

3. Die Lichtstärke

Der nach irgendeiner bestimmten Richtung, d. h. in einen kleinen Raumwinkel abgestrahlte Teil-Lichtstrom wird mit „Lichtstärke" bezeichnet. Früher wurde die Lichtstärke in Hefner-Kerzen (HK) gemessen. Die Lichtstärke einer Hefner-Kerze entsprach ungefähr der einer Stearinkerze. Seit Juli 1949 gilt die Bezeichnung „Candela" (abgekürzt cd) für die Einheit der Lichtstärke. 1 cd ist etwas größer als die alte HK.

Lichtstärke

= Lichtstrom je Raumwinkeleinheit

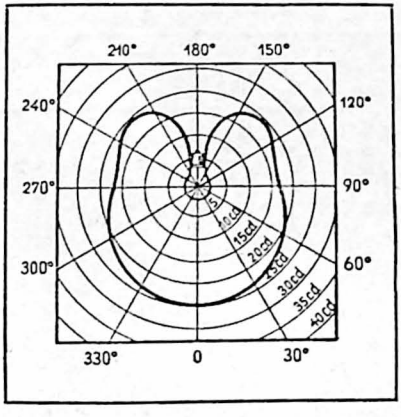
Einheit:

Candela (cd)

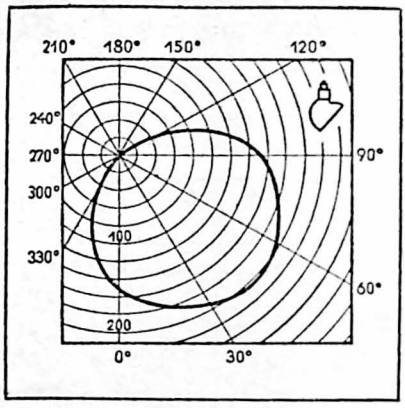
Die Werte in der folgenden Tabelle vermitteln einen Begriff von der Größenordnung der Lichtstärke in Candela.

Lichtquelle	Größte Lichtstärke in Candela (cd) ca.
Normale Stearinkerze	1
Auto-Stadtlicht je Lampe	9
Elektrische Glühlampe 15 W/220 Volt	10
Gewöhnliche Petroleumlampe	12
Abgeblendeter Autoscheinwerfer	27
Elektrische Glühlampe 40 W/220 Volt	40
Voller Autoscheinwerfer	55
Elektrische Glühlampe 60 W/220 Volt	70
Azetylenlampe	72
Gas-Auerlicht (Straßenlaterne)	90
Elektrische Glühlampe 100 W/220 Volt	130
Bogenlampe bei 10 Amp.	2 200
Bogenlampe bei 20 Amp.	5 000
Bogenlampe bei 30 Amp.	9 000
Projektions-Glühlampen 50 kW/220 Volt	100 000
Leuchtfeuer (Leuchtturmlampe mit Spiegel)	550 000

Anmerkung: Für ausgedehnte Lichtquellen, wie z. B. Leuchtstofflampen, sind Lichtstärkenangaben wenig sinnvoll.



Die Lichtstärke einer Lampe ist nicht in jeder Richtung die gleiche. Das Licht verteilt sich von der Lichtquelle ausgehend verschiedenartig im Raum. Um die Lichtverteilung für jede Lampenart schnell ablesen zu können, bedient man sich besonderer Kurven, der Lichtverteilungskurven. Sie werden in ein vorgedrucktes Schema gezeichnet, dessen Art vereinfacht in nebenstehender Zeichnung wiedergegeben ist. In gleichen Abständen sind konzentrische Kreise, Kreise gleicher Lichtstärke, gezogen. Ein Strahlenkreuz von Linien gibt die



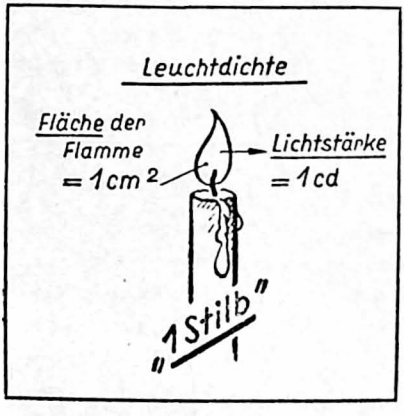
jeweilige Richtung an, in der die Lichtstärke gemessen wurde. In der Zeichnung ist eine Lichtverteilungskurve, die einer bestimmten Glühlampe entspricht, dargestellt. Man erkennt, daß die größte Lichtstärke in dem vorliegenden Fall in der Strahlrichtung senkrecht nach unten auftritt.

Lichtabschirmende Rund- bzw. Hohlspiegel oder ein die eigentliche Lampe umgebender Glaskörper können die ursprüngliche Lichtverteilungskurve wesentlich ändern, wie das Bilderbeispiel zeigt.

4. Die Leuchtdichte

Der Begriff der „Leuchtdichte" bedarf kaum einer Erläuterung, läßt das Wort doch ohne weiteres den dahinter steckenden Sinn erkennen. Eine angenähert punktförmige Lichtquelle strahlt vielleicht den gleichen Lichtstrom aus wie eine größere Leuchtfläche: im ersten Fall ist die Leuchtdichte aber größer als im zweiten.

Die Leuchtdichte ist physikalisch Lichtstärke je gesehener Oberflächeneinheit. 1 Candela je cm² ist die Einheit. Die Maßeinheit ist das „Stilb" (abgekürzt „sb"). Das griechische Wort „stilbein", das soviel wie „leuchten" bedeutet, liegt zugrunde.



Ein leuchtender Körper hat die Leuchtdichte 1 sb, wenn 1 cm² seiner ebenen Oberfläche in senkrechter Richtung die Lichtstärke 1 cd ausstrahlt.

Die Tabelle gibt verschiedene Leuchtdichte-Werte an:

Lichtquelle	Leuchtdichte in Stilb ca.
Neon-Glimmlampe	0,02 0,03
Grauer Himmel	0,1
Vollmond	0,25
Blauer Tageshimmel	0,3
Leuchtstofflampe	0,3 0,4
Stearinkerze	0,6 0,8
Weiße Wolken bei Sonne	0,5 1
Petroleumlampe	0,6 1,5
Gasglühlicht	3 30
Glühlampe, matt	5 40
Kohlefadenlampe, klar	45 80
Glühlampe, klar	200 . . . 1500
Projektionsglühlampe	bis 3500
Mittagssonne	bis 150 000

Eine große Leuchtdichte ist für normale Beleuchtungszwecke nicht wünschenswert. Der Blick in das „offene" Licht der Klarglaslampe ist unerträglich für das Auge. Die geringere Leuchtdichte der „Argenta"- bzw. Mattglaslampe wird angenehm empfunden: man wird nicht geblendet. Noch angenehmer wirkt das sanfte Licht der Leuchtstofflampen, das sich auf ein langes Band verteilt. Dazu ein Vergleich: Drückt man einen spitzen Nagel mit einer gewissen Kraft auf die Hautoberfläche, so wird eine Schmerzempfindung hervorgerufen. Drückt man einen Körper mit gleicher Kraft, aber mit breiter Fläche, auf die Haut, so wird höchstens eine Druckempfindung ausgelöst.

Die Leuchtdichte bestrahlter Flächen, die Licht durch Reflexion „abgeben", wird im allgemeinen mit einem kleineren Maß gewertet, mit dem „Apostilb" (abgekürzt: asb).

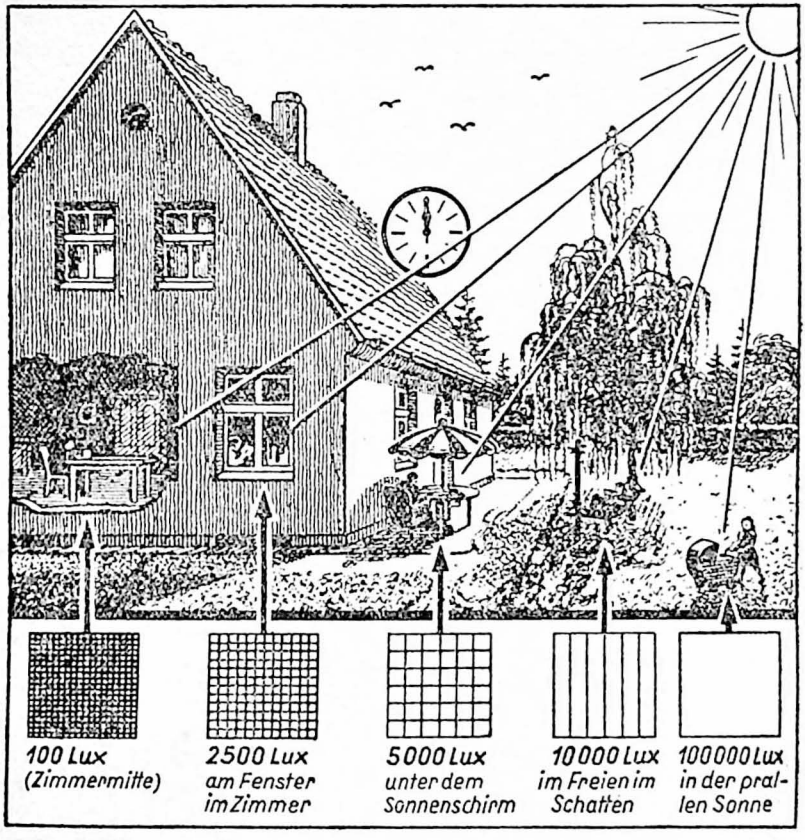
$$1 \text{ Apostilb} = \frac{1}{10^4 \cdot \pi} \text{ Stilb}$$

$$1 \text{ asb} = \frac{1}{31416} \text{ sb.}$$

Leuchtdichte
= Lichtstärke
je Flächeneinheit
Einheit:
Stilb
bzw. Apostilb

5. Die Beleuchtungsstärke

Trifft ein Lichtstrom auf eine Fläche, dann wird diese mehr oder weniger hell „beleuchtet". Maßgebend im wahrsten Sinne des Wortes ist die „Beleuchtungsstärke". Die Einheit ist das „Lux" (abgekürzt lx). Die Beleuchtungsstärke 1 Lux ist gegeben, wenn eine Fläche von 1 m² mit einem Lichtstrom von 1 Lumen bestrahlt wird.



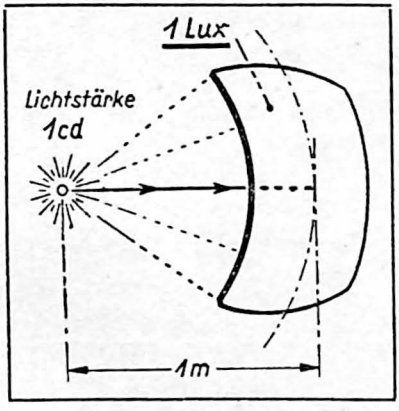
Das Mondlicht erzeugt (bei Vollmond) eine Beleuchtungsstärke von etwa $^1/_{20}$ bis höchstens $^1/_2$ Lux. Das Sonnenlicht gibt in unseren Breitengraden mittags im Hochsommer eine Beleuchtungsstärke von 50 000 bis 100 000 Lux.

In den Frühjahrs- und Herbstmonaten, also z. B. im März oder September, beträgt die Tageslichtbeleuchtungsstärke nachmittags um 3 Uhr durchschnittlich 25 000 Lux, während im Dezember um die gleiche Tageszeit nur etwa 2000 Lux gemessen werden.

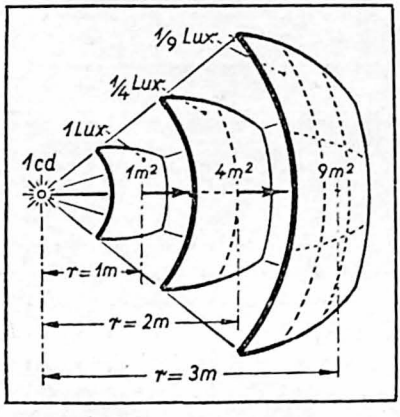
Bei künstlicher Beleuchtung soll die Beleuchtungsstärke in Wohn- und Aufenthaltsräumen (Allgemeinbeleuchtung in Tischhöhe gemessen)

20 Lux nicht unterschreiten. Mittlere Ansprüche verlangen 40 bis 80 Lux, hohe 75 bis 150 Lux. Die für Arbeitsräume erforderlichen Beleuchtungsstärken gehen aus folgender Aufstellung hervor:

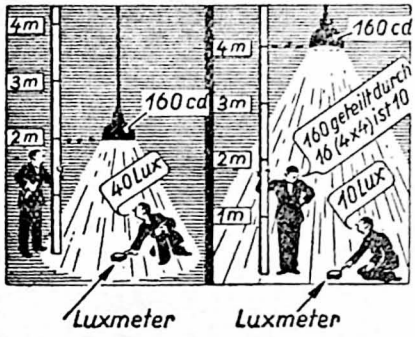
Art der Arbeit	Beleuchtungsstärke (Richtwerte) Lux
Grob (z. B. Schmieden)	50 . . . 80
Mittelfein (z. B. Grobmontage)	200
Fein (z.B. Drehen, Nähen, Maschineschreiben)	500
Sehr fein (Feinmechanik, Zeichnen)	1000



„1 Lux" wird auch als die Beleuchtungsstärke definiert, die eine Lichtquelle (kleiner Ausdehnung) von der Lichtstärke 1 cd auf einer Fläche in 1 m Abstand bei senkrechtem Lichteinfall erzeugt.



Wenn der Abstand einer Lichtquelle (kleiner Ausdehnung) von einer beleuchteten Fläche vergrößert wird, dann nimmt die Beleuchtungsstärke schnell ab und zwar im Quadrat der Entfernung. In der zweifachen Entfernung verteilt sich die gleiche Lichtmenge auf die vierfach vergrößerte Fläche, bei der dreifachen auf die neunfach vergrößerte Fläche usw.



Das läßt sich mit Hilfe eines „Luxmeters", eines Beleuchtungsstärke-Messers leicht nachweisen. Das Instrument besteht aus einer Fotozelle und einem Milliamperemeter. Die Fotozelle gibt mehr oder weniger elektrischen Strom ab, je nachdem ob sie stärker oder schwächer von Lichtstrahlen getroffen wird. Die Skala des Milliamperemeters ist in Lux geeicht. Ähnliche Instrumente werden als Belichtungsmesser beim Fotografieren benutzt. Bezeichnet man den Abstand der Lichtquelle (kleiner Ausdehnung) von der beleuchteten Fläche mit r, dann gilt folgende Beziehung:

$$\text{Beleuchtungsstärke (lx)} = \frac{\text{Lichtstärke (cd)}}{r^2\ (m^2)}$$

Da man die Beleuchtungsstärke abgekürzt mit „E" bezeichnet, und die Lichtstärke mit „I", kann man diese Formel kürzer fassen:

$$E = \frac{I}{r^2}\ (lx)$$

Wenn eine Glühlampe mit einer Lichtstärke von 120 cd eine in 1 m Entfernung befindliche Fläche senkrecht bestrahlt, dann ist die Beleuchtungsstärke auf dieser Wand:

$$E = \frac{I}{r^2} = \frac{120}{1^2} = \frac{120}{1} = \underline{120\ lx}$$

Auf einer 2 Meter entfernten Fläche ist

$$E = \frac{120}{2^2} = \frac{120}{4} = \underline{30\ lx}$$

Auf einer 3 Meter entfernten Fläche ist

$$E = \frac{120}{3^2} = \frac{120}{9} = \underline{13{,}3\ lx}$$

Die Berechnung der Beleuchtungsstärke bei ausgedehnten Lichtquellen, die sich nach dieser Formel nicht durchführen läßt, wird später behandelt.

6. Die Lichtmenge

Gibt es eine Maßeinheit für die Leistung des Lichtes, das Lumen, so muß es auch eine Maßeinheit für die L i c h t a r b e i t geben: die Arbeit ist ja das Primäre. — Die mechanische Leistung wird in PS gemessen, die elektrische in Watt oder Kilowatt. Die jeweils geleistete Arbeit ergibt sich dann, wenn man den Leistungswert mit der auf-

gewandten Zeit multipliziert. Eine kurze Überlegung wird zum Erkennen der Richtigkeit dieser Festlegung genügen. Mechanische Arbeit wird demnach u. a. in PS-Stunden (PSh), elektrische in Kilowattstunden (kWh) gemessen. Eine kleine Maßeinheit für die elektrische Arbeit ist die Wattsekunde (Ws), das Produkt aus der Leistung in Watt und der Zeit in Sekunden.

In der Lichttechnik wird die Lichtarbeit ganz entsprechend durch das Produkt aus der Lichtleistung (Lichtstrom) und der Zeit angegeben. Die Lichtarbeit wird „Lichtmenge" genannt und in „Lumenstunden" (lmh) oder in „Lumensekunden" (lms) gemessen.

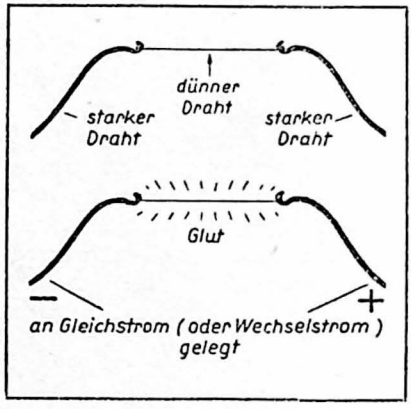
Lichtmenge
= Lichtarbeit
Einheit:
Lumenstunde (lmh)
bzw.
Lumensekunde (lms)

Die Angabe der „Lichtmenge" ist z. B. bei Lichtquellen für fotografische Zwecke von Bedeutung.

7. Zusammenfassende Tabelle der wichtigsten lichttechnischen Begriffe

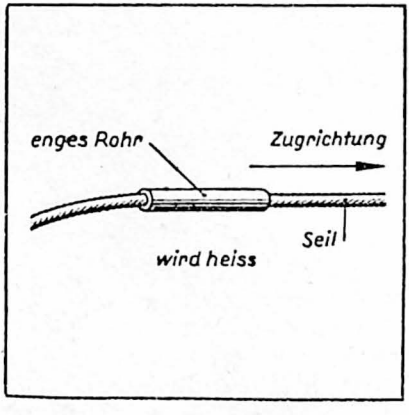
Begriff	Erläuterung	Einheit	Beispiel	
Lichtstrom	Licht-Leistung	Lumen (lm)	100 Watt-Glühlampe 220 V	1380 lm
Licht-ausbeute	Lichtstrom je Watt	Lumen je Watt (lm/W)	100 Watt-Glühlampe 220 V	13,8 lm/W
Lichtstärke	Lichtstrom je Raumwinkel-einheit	Candela (cd)	100 Watt-Glühlampe 220 V	130 cd (Größtwert)
Leuchtdichte	Lichtstärke je gesehene Flächen-einheit (cm^2)	Stilb (sb) Apostilb (asb)	Klarglas-Glühlampe	200–1500 sb
Beleuch-tungsstärke	Lichtstrom je gesehene Flächen-einheit (m^2)	Lux (lx)	Natürl. Beleuchtung in Zimmermitte bei hellem Wetter	ca. 100 lx
Lichtmenge	Lichtarbeit	Lumenstunde (lmh) Lumen-sekunde (lms)	Fotoflux-Blitzlichtlampe	14 000 bis 110 000 lms

C) DIE ELEKTRISCHE GLUHLAMPE

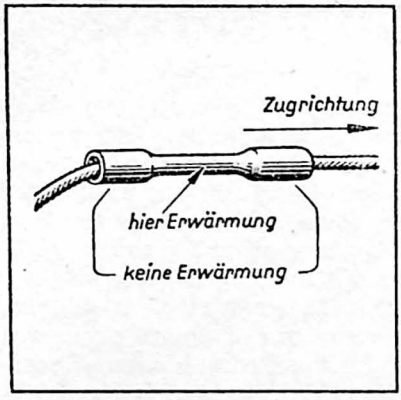


1. Einführendes

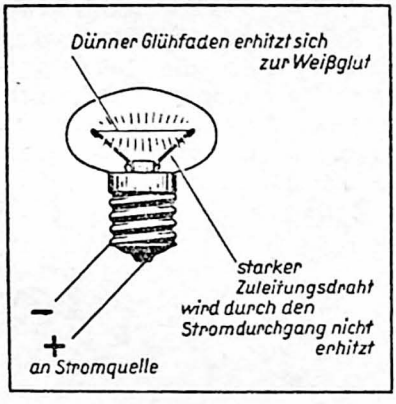
Wenn der elektrische Strom durch einen Draht geschickt wird, so erwärmt sich dieser um so mehr, je größer der Widerstand ist, den er dem Stromfluß entgegensetzt. Bei genügend großer Spannung (elektrischer Druck) bzw. bei genügend großer Stromstärke führt die Erwärmung zur Rotglut, dann zur Weißglut und schließlich zum Durchbrennen des Drahtes. In den elektrischen Sicherungen ist das Durchbrennen erwünschter Effekt; sie enthalten einen dünnen „Schmelzdraht". Nimmt der durchfließende Strom einen zu hohen Wert an, so schmilzt das in die Sicherungspatrone eingelagerte Drähtchen durch: der Stromfluß ist unterbrochen und die sonst mit einem „Kurzschluß" verbundene Gefahr beseitigt.



Man kann das Zustandekommen der Erwärmung eines Drahtes durch den elektrischen Strom mit einem rein mechanischen Vorgang vergleichen. Wird ein zu starkes Seil (Stromstärke) mit genügend großer Kraft (Spannung) durch ein enges Metallrohr gezogen, so wird es heiß.

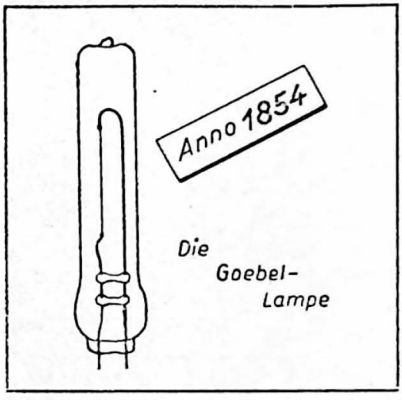


Es findet jedoch keine oder nur eine gelinde Erwärmung statt, wenn der Rohrdurchmesser groß genug ist: das Durchziehen des Seiles geht so gut wie reibungslos vor sich. Erwärmung tritt sowohl beim mechanischen wie beim elektrischen Vorgang stets dort auf, wo ein Widerstand überwunden werden muß.



Bei der elektrischen Glühlampe bietet der dünne Glühdraht dem Fließen des elektrischen Stromes einen nicht unerheblichen Widerstand, der sein Glühen zur Folge hat.

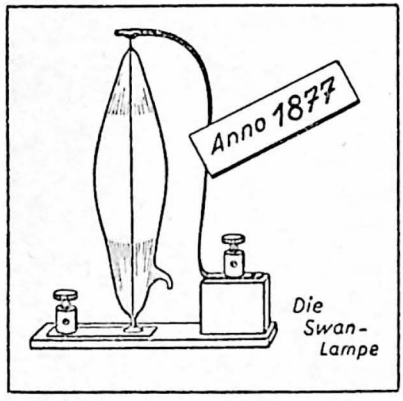
Es ist gleichgültig, ob Gleichstrom oder Wechselstrom angelegt wird, wie es im mechanischen Vergleich gleichgültig ist, ob die Seilzugrichtung gleichbleibt oder wechselt.



Die Goebel-Lampe

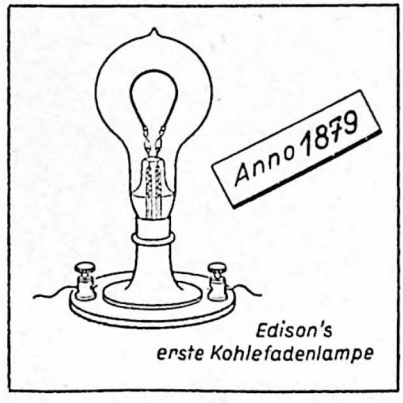
2. Kurzer historischer Rückblick

Der erste Vorschlag zur Herstellung einer Glühlampe stammt aus dem Jahre 1838 von Jobart. Als Widerstand benutzte er ein dünnes Kohlestäbchen, das in einem luftverdünnten Raum untergebracht war. Andere Erfinder verwendeten bereits Metalldrähte (Platin, Iridium), aber erst H. Goebel gelang es 1854 ein wirklich brauchbares Modell zu entwickeln. Er benutzte als „Glühdrähte" Bambusfasern im luftverdünnten Inneren von Glasgefäßen. Goebel, der von Deutschland nach New York ausgewandert war und dort ein Uhrmachergeschäft betrieb, beleuchtete seine Schaufenster-Auslagen elektrisch. Der Strom konnte nur von einer einfachen Batterie geliefert werden; das war die Ursache dafür, daß sich seine Erfindung nicht durchsetzen konnte: die Zeit war noch nicht reif für die Erfindung.



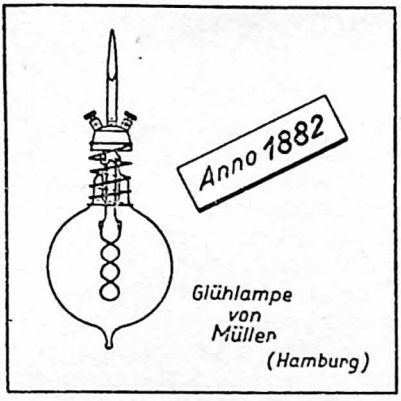
Die Swan-Lampe

23 Jahre später stellte Swan eine Glühlampe mit einem Kohlefaden her. Auch sie konnte sich jedoch nicht durchsetzen.



Edison's erste Kohlefadenlampe

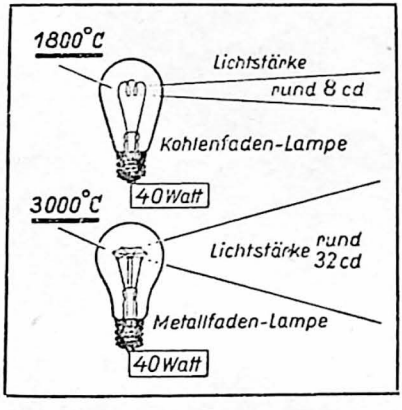
Zwei Jahre darauf — 1879 —, also 25 Jahre nach Goebel, trat Edison mit seiner Glühlampe an die Öffentlichkeit. Er hatte seine Versuche mit Platindraht begonnen, ging aber schließlich zu Bambusfasern über. Sein Verdienst ist es, der Glühlampe eine brauchbare Form gegeben zu haben.



Müller in Hamburg versah seine Lampen 1882 mit einem Kohlefaden.

Obwohl Auer von Weisbach, der Erfinder des „Auer-Gaslichtes", schon 1885 das Metall Osmium für den Glühdraht wählte, setzte sich die Metalldrahtlampe erst viel später durch.

3. Die Glühlampe im einzelnen betrachtet

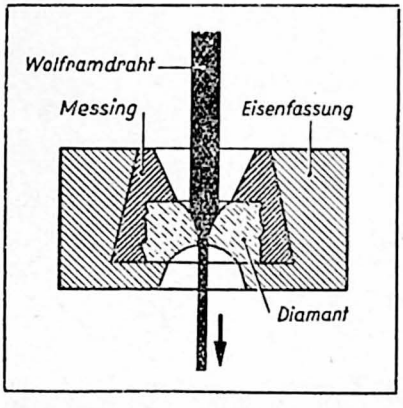


Aufgabe der Glühlampe ist es, viel Licht während langer Zeit auszustrahlen. Sehen wir, wie das Ziel erreicht werden kann. Die Lichtabgabe des Glühdrahtes nimmt mit seiner Temperatur zu (Temperaturstrahler). Erste Bedingung für die Konstruktion einer wirkungsvollen Glühlampe ist also eine höchstmögliche Temperatur ihres Glühdrahtes. Die alten Kohlefadenlampen leuchteten nur rötlich. Weißglut konnte wegen der hohen Verdampfungsgeschwindigkeit des Kohlefadens bei hohen Temperaturen nicht erreicht werden; er durfte höchstens eine Temperatur von 1800° C annehmen. Die Betriebstemperatur moderner Lampen liegt zwischen 2300 und 3000° C.

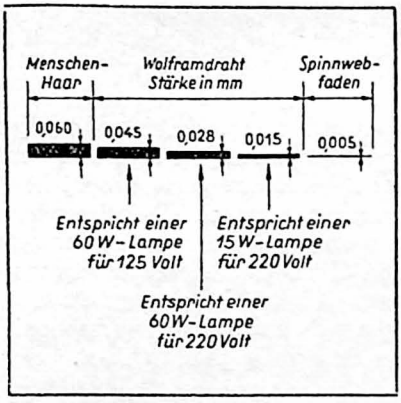
Schmelzpunkte einiger Stoffe	
Stoff	°C
Kupfer	1083°
Eisen	etwa 1400°
Platin	1770°
Osmium	2500°
Tantal	2900°
Wolfram	3350°

Auf der Suche nach einem geeigneten Material ergab sich, daß das Metall Wolfram den Ansprüchen besonders entsprach: Wolfram hat einen hohen Schmelzpunkt, der bei 3350° C liegt, die Verdampfungsgeschwindigkeit ist gering, die Bedingung ausreichender mechanischer Festigkeit gewährleistet.

Allerdings war die Bearbeitung des Wolframs nicht einfach, erst allmählich gelang es, das Material so zu behandeln, daß formbare Drähte gezogen werden konnten. — Wolframpulver wird unter sehr hohem Druck zu Stäben gepreßt. Die noch sehr zerbrechlichen Stäbe werden durch einen starken elektrischen Strom bis zur Weißglut erhitzt und erlangen dadurch eine für die Weiterverarbeitung genügend große mechanische Festigkeit. Durch ein besonderes maschinelles Hämmerverfahren wird der Durchmesser der Stäbe von 5,5 mm zunächst auf 1 mm gebracht, wobei die ursprüngliche kristallinische Struktur zur Faserstruktur wird.



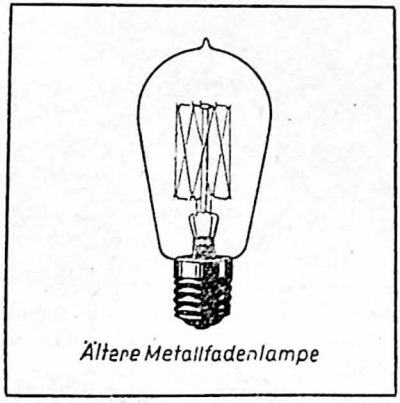
Eine weitere Verringerung des Durchmessers wird durch Ziehen erreicht: man zieht den Wolframdraht durch immer kleinere Bohrungen in Diamanten (Ziehsteine), bis er den gewünschten Durchmesser angenommen hat.



Der Drahtdurchmesser beträgt je nach der Lampenspannung bis herab zu 15 Mikron (1 Mikron = $^1/_{1000}$ mm). Im Vergleich dazu hat ein Menschenhaar einen Durchmesser von etwa 60 Mikron.

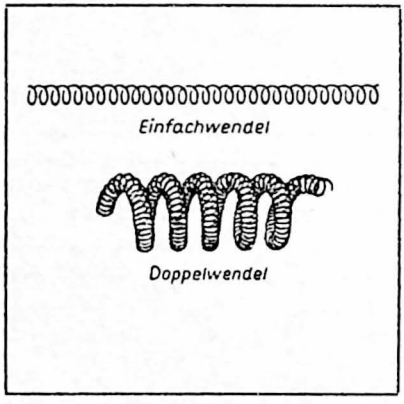
Ein Wolframdraht von 4 m Länge und 1 mm Durchmesser verlängert sich, auf 15 Mikron gebracht, auf rund 17 000 m, also auf 17 km. Ein Kilometer von diesem Draht wiegt nur rund 2,2 Gramm.

Dicke und Länge des Wolframdrahtes richten sich bei den einzelnen Lampen nach der elektrischen Leistungsaufnahme (Wattzahl) und der Spannung (Voltzahl) der Lampe. Die Drahtdicke einer 15-Watt-Lampe für 220 Volt beträgt 15 Mikron. Dagegen gibt es starke Sonderlampen mit Glühdrähten von 2,5 mm Durchmesser. — Die geringste praktisch verwendete Drahtlänge beträgt 3,8 mm (Zwerglampen von 0,2 Watt für 1,5 Volt Spannung). Den längsten Glühdraht hat eine 50-kW-Lampe für 220 Volt, er mißt 6000 mm, also 6 Meter! —

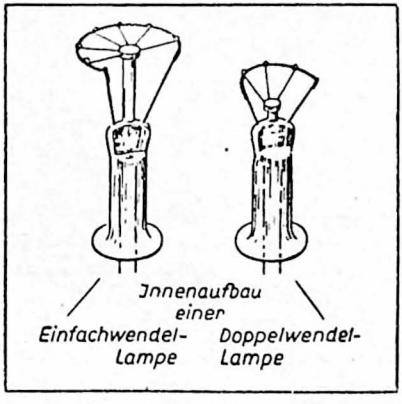

Ältere Metallfadenlampe

Zuerst stellte man Wolframlampen her, bei denen ein gerader ausgespannter Draht zickzackförmig um eine Haltevorrichtung im Inneren des luftleer gepumpten Glases untergebracht war.

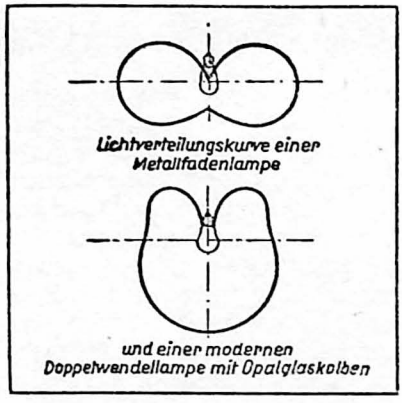
Vorteilhafter ist es, sowohl in bezug auf die Abmessungen der Lampen, als auch in bezug auf die Lichtausbeute den Glühdraht zu wendeln, denn die Verluste durch Wärmeleitung werden entsprechend der Verkürzung des Leuchtkörpers geringer. Die Länge des Drahtes einer 15-Watt-Lampe, straff ausgespannt, beträgt rund 750 mm, nach der Wendelung nur noch rund 93 mm; Wendeldurchmesser rund 0,1 mm.



Eine weitere Erhöhung der Lichtausbeute, bedingt durch eine weitere Temperatursteigerung, wird durch Doppelwendelung erreicht: die einfache Wendel wird noch einmal schraubenartig gewickelt, und damit die Länge des Glühdrahtes auf $^1/_{25}$ der Länge des geraden Drahtes verkürzt.

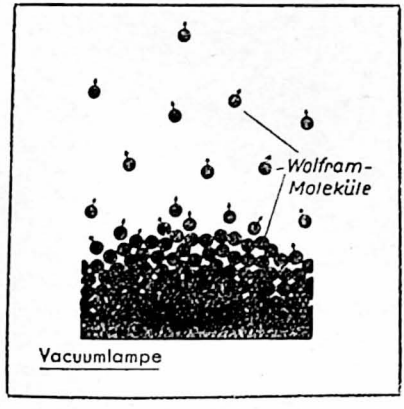


Der Innenaufbau der Lampe wird einfacher, da man bei verkürztem Stab mit weniger Haltern für den Glühdraht auskommt.

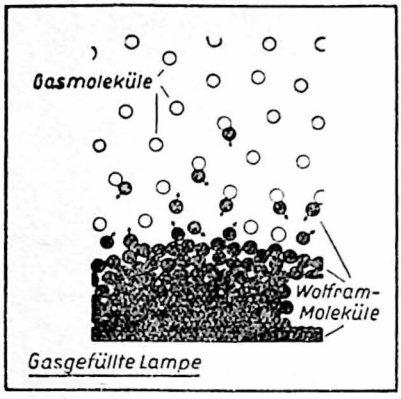


Die Lichtverteilung hängt stark von der Anordnung des Glühdrahtes innerhalb des Kolbens ab, wie aus den beiden Lichtverteilungskurven für eine einfache Metalldrahtlampe und für eine Doppelwendellampe hervorgeht.

Damit die Lampe eine möglichst lange Lebensdauer hat, wird das Innere des Glaskolbens stark luftverdünnt. In dem sauerstofffreien Kolbenraum verdampft der hocherhitzte Wolframdraht nur langsam. Die Verdampfungsgeschwindigkeit wird durch eine Gasfüllung des Kolbens weiter herabgesetzt. Nach der Luftevakuierung wird ein Gas, das sich bei den hohen Temperaturen des Glühdrahtes nicht chemisch mit dem Metall verbindet, in den Kolben eingeführt. Meist verwendet man Stickstoff oder Argon.

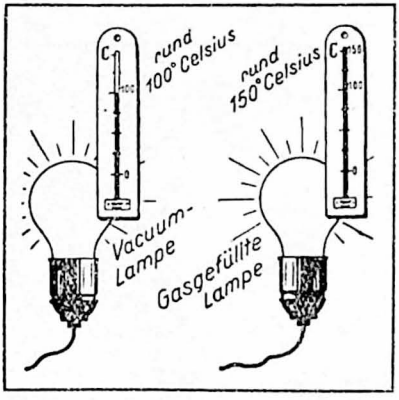


Das Verdampfen des Wolframs im luftleeren Kolben geht etwa so vor sich, wie es nebenstehende Zeichnung andeutet: einzelne Wolfram-Moleküle lösen sich aus dem Gefüge und streben in den umgebenden Raum.



Bei vorhandener Gasfüllung stoßen die abfliegenden Wolfram-Moleküle auf Moleküle des Füllgases und werden dadurch in ihrer Bewegung aufgehalten. Sie werden zum größten Teil wieder zum Draht zurückgeworfen. — Gasgefüllte Glühlampen werden als Allgebrauchslampen ab 40 Watt hergestellt.

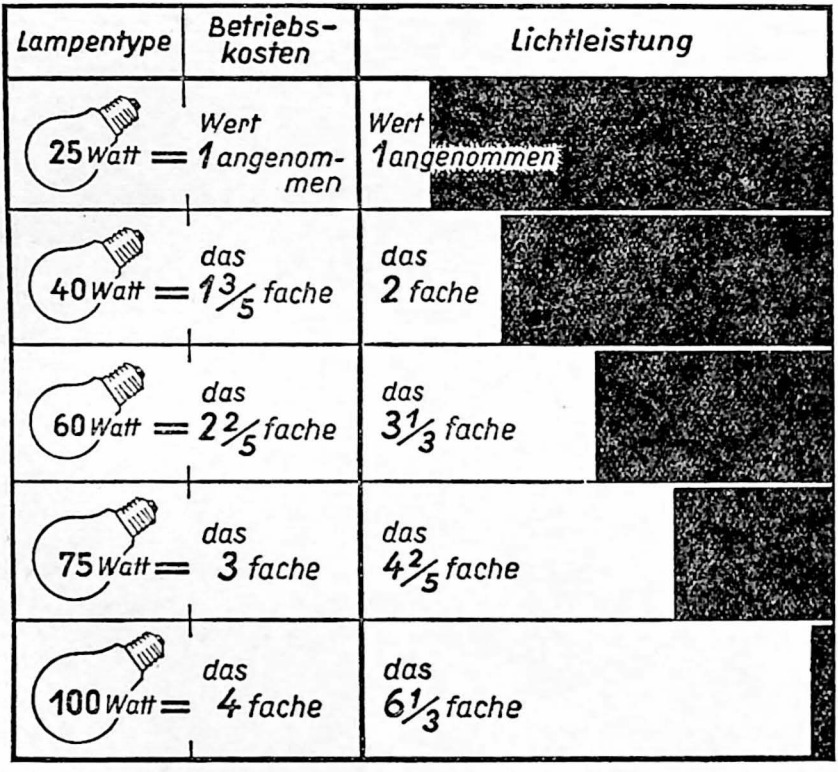
Es ist nicht zu vermeiden, daß sich im Laufe der Zeit verdampftes Glühdrahtmaterial auch bei gasgefüllten Lampen auf die Kolbeninnenwand niederschlägt und diese allmählich schwärzt. Man soll eine Glühlampe nicht über ihre „Nutzbrenndauer" hinaus, die für die Allgebrauchslampen bei 1000 Stunden liegt, betreiben, weil die Kolbenschwärzung den Lichtstrom erheblich schwächt (nach 1000 Stunden um etwa 20%) und die Lichtausbeute verringert wird. Der Schwärzung begegnet man dadurch weitgehend, daß man gewisse chemische Verbindungen, Fangstoffe, innerhalb der Lampenkolben unterbringt. Der Fachausdruck für die Fangstoffe heißt „Getter".



Bei gleicher Lebensdauer können gasgefüllte Lampen höher belastet werden als Vakuumlampen (luftleer gemachte Lampen). Obwohl die Wärmeableitung durch die Gasfüllung größer ist als bei Luftleere, ist die Lichtausbeute im ersten Fall eine höhere. Äußerlich kann man Vakuumlampen von gasgefüllten Lampen gleicher Art an der Kolbentemperatur unterscheiden.

Je niedriger die Lampenspannung bei sonst gleichen Betriebsdaten (Leistung, Lebensdauer) liegt, desto höher ist der Lichtstrom. Man braucht nur die Lichtstrom-Werte der Allgebrauchslampen bei 110 und 220 Volt miteinander zu vergleichen. Die Ursache: der bei geringerer Lampenspannung stärkere Glühdraht kann relativ höher belastet werden. (Die Regel gilt nicht mehr für Betriebsspannungen unter 10 Volt.)

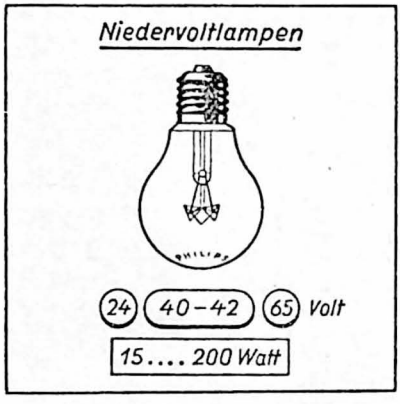
Einen Vergleich zwischen wachsender elektrischer Leistung, Lichtleistung und Betriebskosten gibt die Zeichnung.



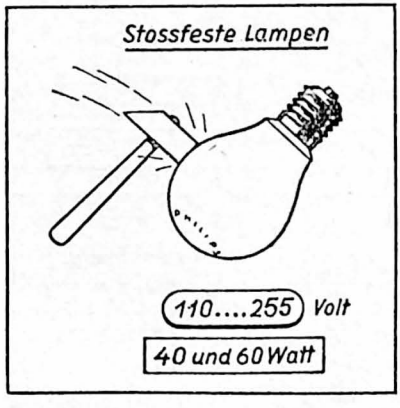
4. Von Glühlampen aller Art

Ein Blick in die Lampenkataloge läßt die außerordentlich große Zahl der verschiedenen Glühlampenarten erkennen. Glühlampen werden für Spannungen von etwa 1,5 Volt an bis zu 250 Volt, ja u. U. auch für noch höhere Spannungen angefertigt. Die Allgebrauchslampen sind mit vielen verschiedenen Typen vertreten, müssen sie doch für den praktischen Gebrauch in zahlreichen „Stärken" zur Verfügung stehen; sie werden für Leistungen von 15 Watt bis zu 2000 Watt hergestellt. Die Zahl der Typen vermehrt sich weiter durch unterschiedliche Sockelung (auf die weiter unten eingegangen wird), ferner durch die verschiedenartige Ausführung der Glaskolben (Klarglas-, Mattglas-, Opalglas-Lampen). Was das für die Lagerhaltung bedeutet, kann man sich vielleicht ausrechnen.

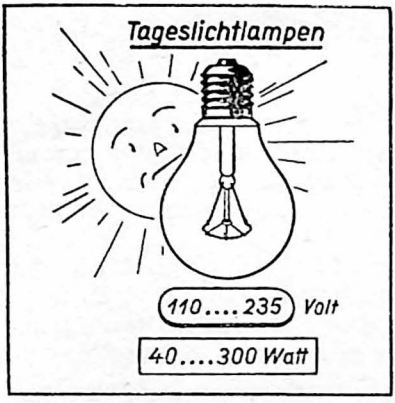
Die jüngste der Allgebrauchs-Typen ist die A r g e n t a - Lampe, die mit neuartig opalisiertem Kolben ein mildes Licht, ähnlich den Opal-Lampen, aber mit geringerem Lichtverlust, liefert.



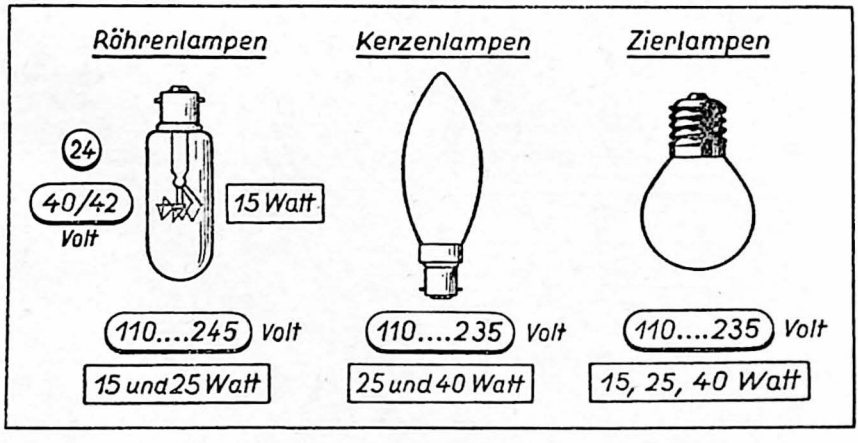
Zu den „normalen" Typen gesellen sich die Lämpchen für Kleinstspannungen von 1,5 Volt und N i e d e r - v o l t - L a m p e n. An der unteren Leistungsgrenze liegen Lämpchen von 1½ Watt; nach oben hin steigen die Leistungen bis 50 kW an.



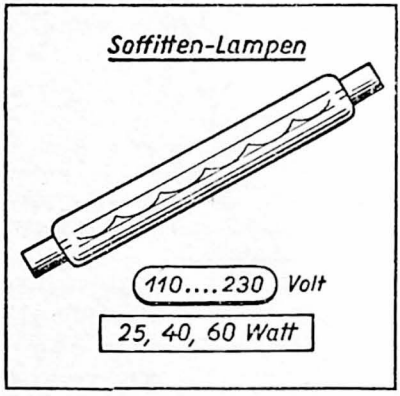
Da gibt es Sonderausführungen für den Bahnbetrieb und s t o ß f e s t e L a m p e n für Land- und Wasserfahrzeuge.



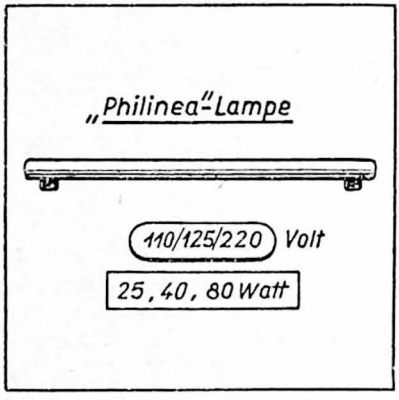
T a g e s l i c h t l a m p e n , die dort, wo es auf zuverlässige Farbbeurteilung ankommt (z. B. bei Malern, beim Sortieren von Textilwaren, von Tabaken, Zigarren usw.), verlangt werden, müssen im Herstellungsprogramm vertreten sein.



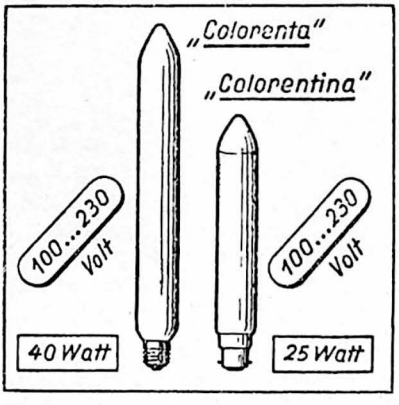
In der Form weichen die R ö h r e n l a m p e n von den Normallampen ab (sie dienen u. a. als Nähllicht, zur Schalttafelbeleuchtung, zur Notbeleuchtung), ebenso die K e r z e n l a m p e n und die dekorativen Zwecken dienenden K u g e l l a m p e n. All diese Typen müssen für verschiedene Spannungen und verschiedene Leistungen vorgesehen werden.



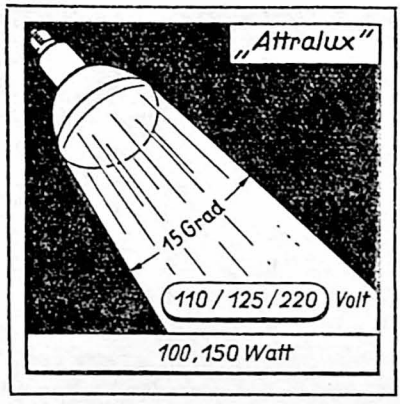
Soffitten-Lampen (Doppelsockel-Lampen), klar, zur Hälfte verspiegelt oder in Opalglas, sind Lampen in schmaler Röhrenform. Ihr Name rührt her von ihrer früheren Verwendung im Theater zur Beleuchtung der Soffitten. Heute dienen sie vor allem der Beleuchtung von Schaufenstern, Schaukästen und von Leuchtschildern.



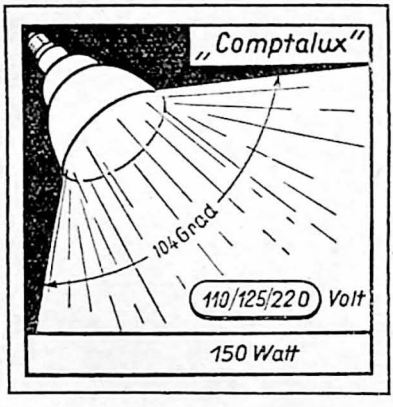
Die Philinea-Lampen mit Opalglas sind langgestreckte Röhrenformlampen, deren sanftes Licht schöne Effekte erzielen läßt.



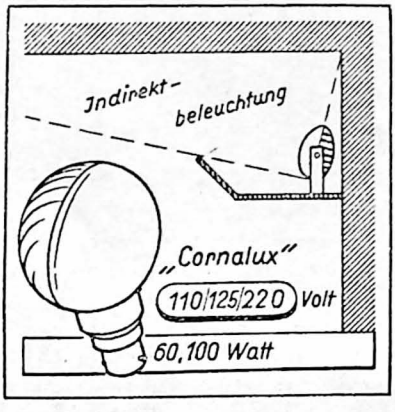
In den Colorenta- und Colorentina-Lampen stehen weitere Lichtquellen für dekorative Beleuchtung zur Verfügung. Die Colorenta-Lampe hat einen Opalglaskolben. Die Spitze der Colorentina-Lampe ist mattiert, der Schaft elfenbeinfarben spritzlackiert.



Innen zur Hälfte verspiegelt und außen mattiert ist die „Attralux"-Lampe, eine Lampe mit besonders geformtem Glaskolben, die ein konzentriertes Lichtbündel abstrahlt. Sie dient im besonderen der Beleuchtung von Schaufenstern und hohen Verkaufsräumen. Sie hat einen Lichtausstrahlungswinkel von 15°.



Die „Comptalux" - Lampe weicht in der Form von der „Attralux" ab. Sie ist wie diese innen verspiegelt und wird ebenso zur Ladenbeleuchtung benutzt. Ihr Ausstrahlungswinkel ist größer.



Die „Cornalux-Lampe ist eine den besonderen Erfordernissen angepaßte Lichtquelle für Indirektbeleuchtung (zur Verwendung z. B. in Leuchtrinnen). Ihr Kolben ist auf der Oberfläche gerippt und innen zur Hälfte verspiegelt. Die Lampe verbreitet ihr Licht über eine Fläche, deren Ausmaß dem Fünffachen des Höhenabstandes zwischen Lampe und Decke entspricht.

Die drei letztgenannten Modelle bündeln den Lichtstrom durch eine besondere Anordnung des Leuchtkörpers und durch die Verspiegelung derart, daß sich eine vielfache Verstärkung des Lichtstromes in bestimmter Richtung bei nur geringem elektrischem Energieverbrauch ergibt.

Im Gegensatz zu den eben erwähnten Typen sind die für Parfümbrenner bestimmten Lampen nur von schwacher Leistung: es kommt nicht auf starke Lichtwirkung, sondern mehr auf eine gewisse Wärmewirkung an (100—250 Volt, 15 Watt).

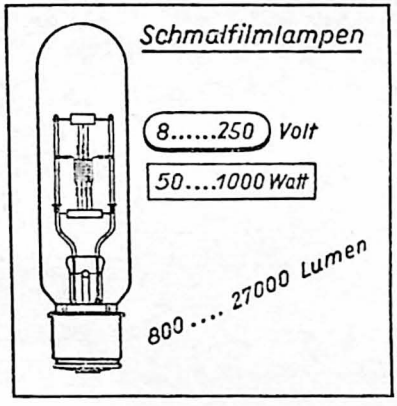
Die historischen Kohlefadenlampen werden auch heute noch hergestellt, dienen aber nicht mehr Beleuchtungszwecken. Man verwendet sie als Widerstände, manchmal auch noch als Wärmestrahler, obwohl es für solche Zwecke Speziallampen gibt (Inkubator-Lampen, Infrarot-Strahler). In Fortsetzung einer alten Überlieferung werden sie nach „Kerzen"-Werten abgestuft und für Spannungen von 115 und 230 Volt hergestellt (16, 25, 32 und 50 Kerzen).

Die verschiedensten lichttechnischen Aufgaben lassen sich durch geeignete Wahl der Glühdrahtstärke und Glühdrahtlänge und nicht zuletzt durch die Anordnung des Glühdrahtes im Kolbeninnern erfüllen. Der Lichtstrom kann durch geeignete Mittel verschiedenartig und wunschgemäß beeinflußt werden.

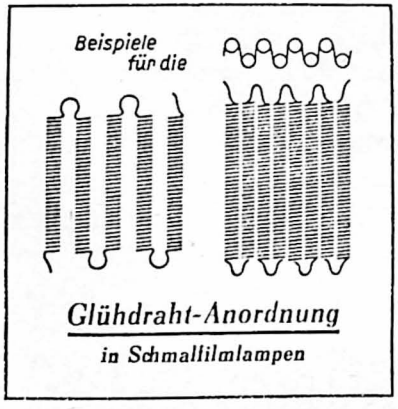
Die Temperatur des Leuchtkörpers der Lampen läßt sich durch die Dimensionierung des Glühdrahtes in weiten Grenzen beliebig wählen. Im allgemeinen werden Temperaturen von 2000 ° bis max. 3400 °K hervorgerufen. Manchem Leser wird diese Temperaturgrad-Angabe neu sein. Es bedarf daher einer kurzen Erläuterung, um so mehr, als solche Wertangaben häufiger vorkommen. — „K" ist eine Abkürzung für „Kelvin", wie „C" eine Abkürzung für „Celsius" ist. Die Messung in Kelvingraden geht auf den Physiker Lord Kelvin zurück, der im Jahre 1852 die „Absolute Temperaturskala" aufgestellt hat. Nach ihr gibt es keine Kältegrade, vielmehr nur Wärmegrade.

Der Nullpunkt der „Absoluten Temperaturskala" kann nicht mehr unterschritten werden. Er liegt in Celsiusgraden angegeben bei minus 273,2. Oberhalb des absoluten Nullpunktes gibt es nur Plus-Temperaturen, also nur „Wärme". „1 Grad Kelvin" ist gleichbedeutend mit —272,2 Grad Celsius. Den vorher angegebenen 2000 °K entsprechen daher rund 1728 Grad Celsius, den ebenso angegebenen 3400 °K rund 3128 °C.

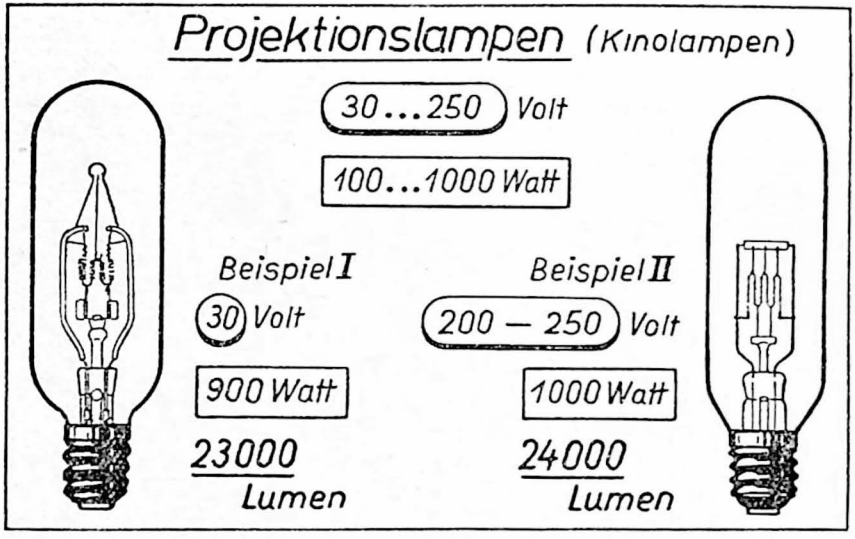
Von der Temperatur des Leuchtkörpers in der Glühlampe hängt außer dem Lichtstrom auch die Lichtfarbe ab. Bis 2000 °K ist sie rötlich-weiß, bei 3400 °K fast reinweiß. — Lichtausbeute und Leuchtdichte einer Glühlampe lassen sich bei sonst gleichbleibenden Bedingungen (Gasfüllung, Spannung, Leistungsaufnahme) durch höhere Drahttemperatur steigern. Das geht allerdings auf Kosten der Lebensdauer, so daß man einen bestimmten Höchstwert für die Temperatur des Glühdrahtes nur in besonderen Fällen überschreitet.



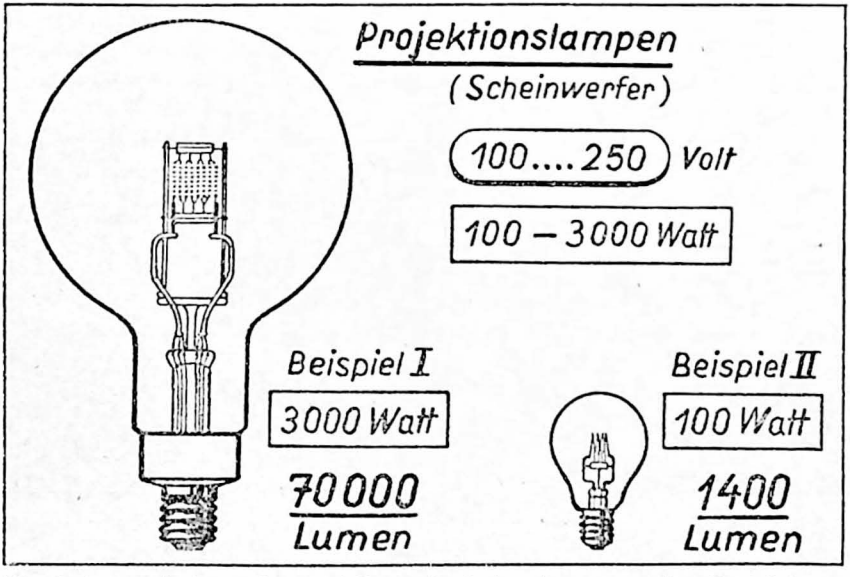
Projektions-, Kino- und Schmalfilm-Lampen sind Sonderausführungen, bei denen höchstmögliche Leuchtdichte verlangt wird; ihre Lebensdauer ist daher im allgemeinen beschränkt und z. B. für Schmalfilmlampen, von denen das Bild ein Beispiel zeigt, mit 25 oder 50 Stunden begrenzt.



In diesen Spezial-Lampen ordnet man die Leuchtwendeln nah beieinander liegend flächig an, um den Leuchtkörper möglichst zu konzentrieren.

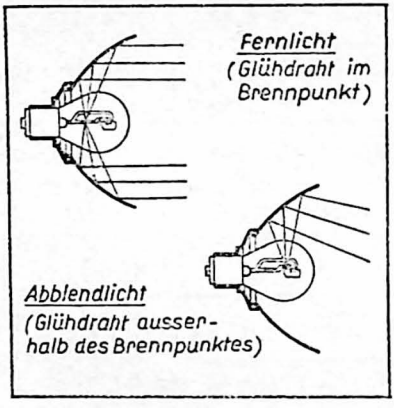


Kinolampen für Normalfilmgeräte und größere Projektionsapparate werden für Leistungswerte bis zu 1500 Watt gebaut. Lebensdauer der Lampen etwa 100 Stunden.



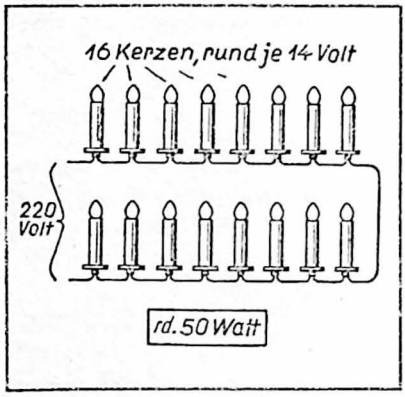
Für Bühnenscheinwerfer und Fassadenbeleuchtung werden Projektionslampen mit Leistungswerten bis 3000 Watt hergestellt. Diese ganz großen Lampen verbrauchen so viel Strom wie drei 1000-Watt-Heizöfen.

Für Filmaufnahmezwecke werden besonders starke Lichtquellen benötigt. Die PHILIPS-Werke stellen solche Glühlampen bis zu einem Leistungswert von 10 000 Watt und einem Lichtstrom von 300 000 Lumen her. Vergleichsweise dazu liefert eine 60-Watt-Allgebrauchslampe bei 220 Volt einen Lichtstrom von rund 750 Lumen. Über zweihundert 100-Watt-Lampen wären erforderlich, wenn der gleiche Lichtstrom von ihnen geliefert werden sollte. Mehr als die doppelte elektrische Leistung, nämlich über 20 000 Watt, müßte in diesem Fall aufgebracht werden. Dabei geht die ganze gewaltige Leuchtkraft der 10 000-Watt-Lampe von einer relativ kleinen Leuchtfläche aus.



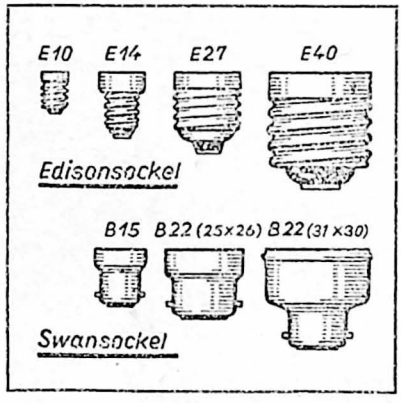
Die kleinen Glühlampen für Autoscheinwerfer müssen eine hohe Leuchtdichte haben (Nutzbrenndauer 100 Stunden). — Die „PHILIPS-Duplo" - Lampen enthalten 2 Leuchtkörper. Der eine liegt im Brennpunkt des umgebenden Hohlspiegels (Fernlicht), während der andere aus dem Brennpunkt herausrückt und ein stärker streuendes Lichtbündel unterhalb der Horizontalen liefert (Abblendlicht).

Neben den hier genannten und beschriebenen Lampenarten gibt es noch eine ganze Menge anderer für Spezialzwecke, angefangen bei kleinen Lämpchen für die verschiedensten Arten der Autobeleuchtung (z. B. Bremslichtlampen, Innenbeleuchtungslampen, Anzeigelampen usw.) und Skalenbeleuchtung über solche für mikroskopische und medizinische Zwecke bis zu den Illuminationslampen. Sie alle einzeln aufzuführen hieße Seiten füllen.



Bei der Christbaumbeleuchtung, das sei kurz erwähnt, schaltet man 16 kleine Lampen hintereinander und teilt damit den Netzspannungswert von 220 Volt in 16 Einzelspannungen von rund 14 Volt auf. Das ist nicht anders, als wenn man einen längeren Glühdraht 16mal unterteilen würde und die einzelnen Teile — miteinander verbunden — insgesamt an die Netzspannung legen würde.

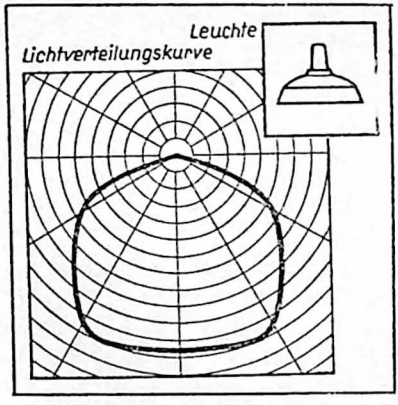
In einem früheren Abschnitt wurde schon darauf hingewiesen, daß alle Glühlampen sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom betrieben werden können. Das führt zu der Überlegung, daß die wechselstrombetriebenen Lampen bei den ständigen Spannungswechseln flimmern müßten. Tatsächlich tun sie das auch, nur folgen die Helligkeitswechsel bei 50periodigem Wechselstrom so schnell aufeinander, daß Helligkeitsunterschiede vom Auge nicht wahrgenommen werden, um so weniger, als die Lichtstärke, bedingt durch die Wärmeträgheit des Wolframdrahtes, nie ganz auf Null herabsinkt. — Die elektrischen Bahnen benutzen aus verschiedenen Gründen Wechselstrom mit einer geringeren Periodenzahl. Sie ist mit $16^2/_3$ Perioden gegen 50 des normalen Wechselstroms genormt. Eine gewöhnliche Glühlampe flimmert bei dieser geringen Wechselzahl deutlich, ja unangenehm erkennbar. Sonderausführungen für elektrische Bahnen unterdrücken das Flimmern: man wählt einen stärkeren Glühdraht, der die Temperatur länger beibehält, ferner sorgt man dafür, daß die Drahttemperatur geringer bleibt und der Leuchtkörper in einem Vakuum untergebracht ist. In einem gasgefüllten Kolben würde die Wärmeableitung eine größere sein.



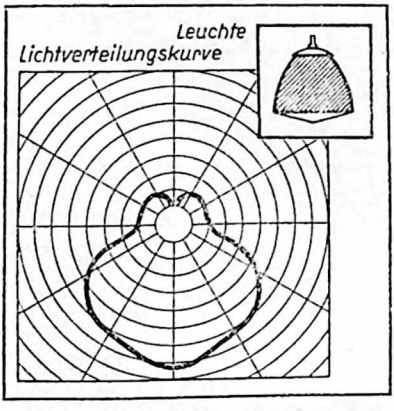
Was die Sockelung der Glühlampen anbelangt, so unterscheidet man in der Hauptsache Edisonsockel (Schraubsockel) und Swansockel (Einstecksockel mit einer Art Bajonettverschluß an der Fassung). Die Tabelle gibt die wichtigsten Sockelarten an. Der Edisonsockel E 27 wird in Deutschland für die Allgebrauchslampen fast allgemein angewandt. Seltener wird für diese Lampen der Swansockel B 22 verwendet.

Mit dem Goliath-Sockel E 40 sind die Lampen ab 300 Watt versehen. Der Edisonsockel E 14 findet sich z. B. bei den Kerzenformlampen. Ihm entspricht der Klein-Swansockel B 15. Außer den angeführten Sockelarten gibt es neben den Zwergsockeln (E10) der Taschenlampen- und Skalenbeleuchtungslampen viele Sonderausführungen, z. B. für Kino- und Projektionslampen. — Die Soffittenlampen sind an beiden Enden durch einfache Metallbecher gesockelt, die in federnde Halter eingedrückt werden. Die Philinea-Lampen sind je mit 2 besonderen Einstecksockeln versehen.

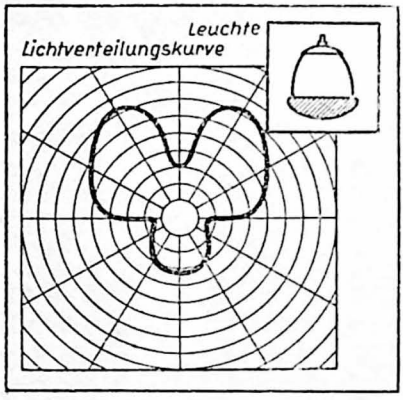
Zum Schluß dieses Abschnittes noch ein paar Worte über die Lichtverteilung der Glühlampen. Es ist verständlich, daß die Mattierung oder die Opalisierung des Glaskolbens (z. B. bei den Argentalampen) die Leuchtdichte herabsetzt. Das hat aber den Vorteil der Blendfreiheit: der Lichtstrom wird über die größere streuende Kolbenfläche gleichmäßig verteilt. — Je nach den verwendeten Leuchten sind die Lichtverteilungskurven verschieden. Einige Beispiele sollen das zeigen.



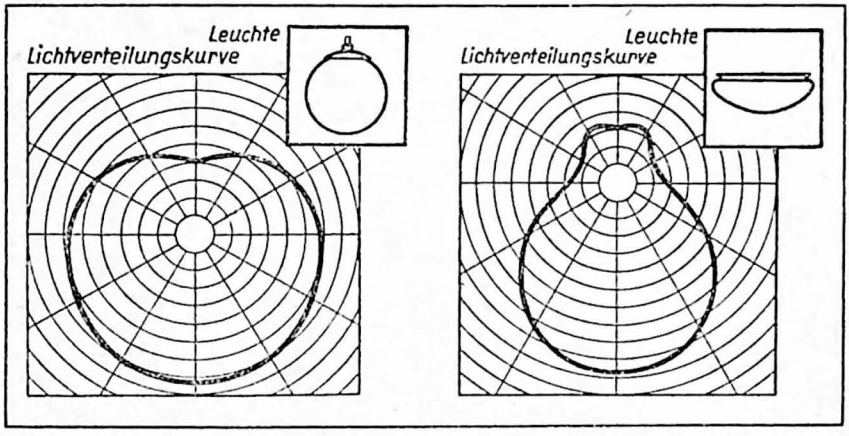
Leuchte aus Eisenblech, Innenseite weiß emailliert, für direkte Beleuchtung.



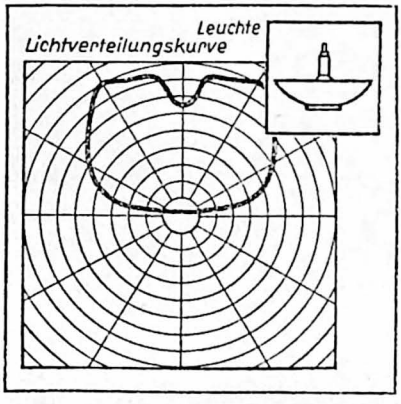
Glasglocke, oben opalüberfangen, unten säurematttiert, für überwiegend direkte Beleuchtung.



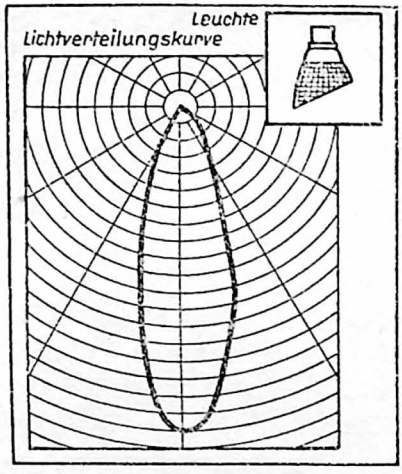
Glasglocke, oben säurematttiert, unten opalüberfangen, für überwiegend indirekte Beleuchtung.



Glasglocken, vollständig opalüberfangen, für diffuse Beleuchtung.



Metalleuchte, verchromt oder vernickelt, Innenseite weiß, für indirekte Beleuchtung.



Versilberter Glasreflektor.

D) PHOTOLAMPEN

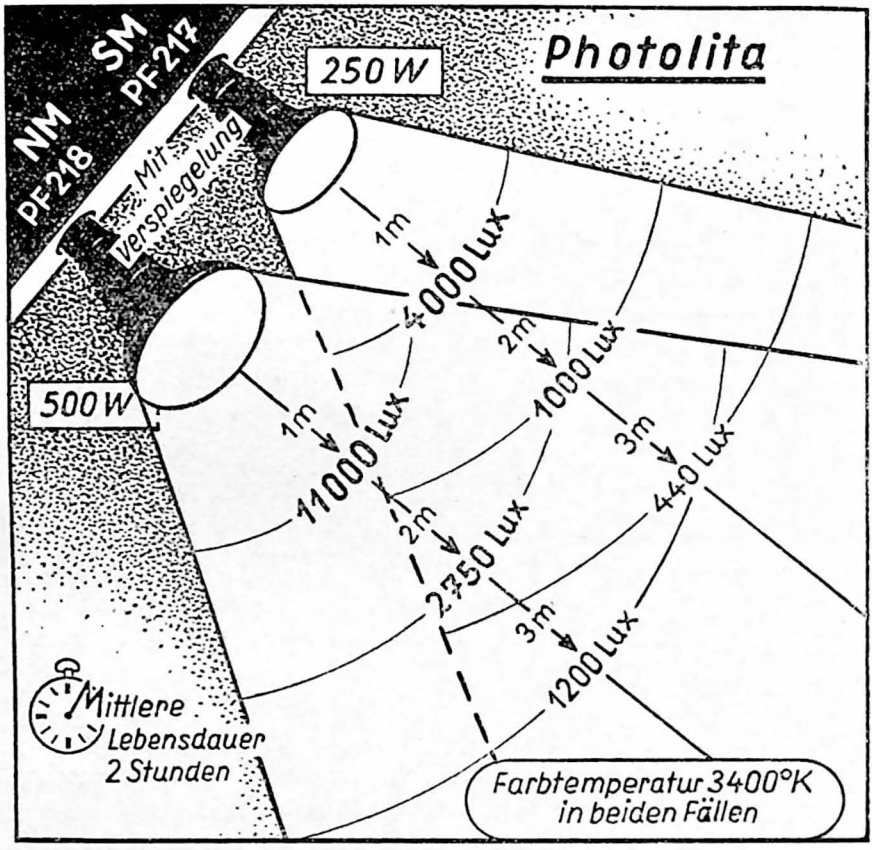
Es ist eine Binsenweisheit, daß man zum Photographieren Licht braucht. Wenn Tageslicht nicht oder in nicht ausreichendem Maße zur Verfügung steht, beleuchtet man die aufzunehmenden Objekte „künstlich". Mit Kunstlicht lassen sich außerdem besondere Effekte erzielen, Details herausholen, zu scharfe Schatten mildern usw. — Photolampen, seien es Glühlampen oder Blitzlampen, machen unabhängig von Raum, Witterung, Tages- und Jahreszeit. Für Porträt- und Innenaufnahmen ist Kunstlicht unentbehrlich. Durch Verwendung mehrerer Lichtquellen läßt sich jeder wünschenswerte Helligkeitsgrad erreichen. Zudem haben die künstlichen Lichtquellen nicht nur den Vorteil ortsbeweglich zu sein, sie gestatten es dem Amateur auch, mit einfachsten Photoapparaten einwandfreie und schönste Aufnahmen zu machen, die sonst nur mit teueren Geräten möglich sind.

1. Glühlampen zum Ausleuchten photographischer Objekte

Der Glühdraht dieser Spezial-Lampen ist einer hohen Belastung ausgesetzt, er hat deshalb eine beschränkte Lebensdauer. Die Photolita-Lampen z. B. brennen im Mittel nur zwei Stunden, dafür geben sie ein außerordentlich helles Licht ab. Wollte man die gleiche Lichtstärke mit einer normalen Glühlampe erreichen, so müßte man schon ein sehr starkes Modell wählen, das nicht nur teurer, sondern auch vor allem recht unhandlich sein würde. Die Kurzlebigkeit der Photolita-Lampen fällt dem Photofreund noch nicht einmal besonders auf. Nimmt man die Beleuchtungszeit mit 10 Sekunden an, so kann man mit einer Lampe etwa 1000 Aufnahmen machen — und das dürfte reichen! Zudem sind die Photolita-Lampen in jeder Hinsicht dem besonderen Zweck angepaßt; sie sind unter anderem mit einem normalen Edisonsockel versehen, der es gestattet, sie in jede gebräuchliche Lampenfassung einzuschrauben.

Die Photolita-Lampen werden in vier Typen hergestellt, die allen Ansprüchen gerecht werden. Zwei davon sind innen zur Hälfte verspiegelt, so daß auf die Verwendung eines besonderen Reflektors verzichtet werden kann. In eine Nachttischlampe eingeschraubt, ergeben diese Typen z. B. eine sehr gut brauchbare Photoleuchte.

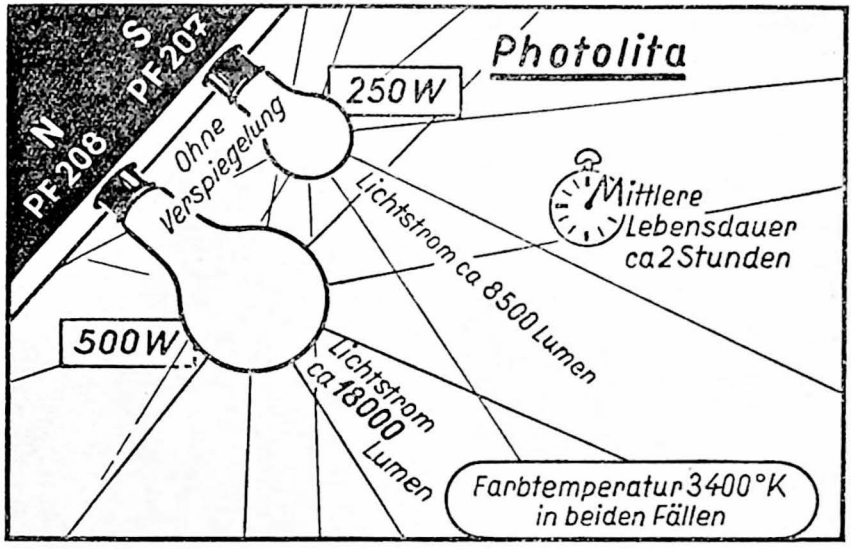
Für die Beurteilung der Lampen ist der Begriff der Farbtemperatur wichtig. Aus dem Voraufgegangenen wissen wir, daß die Lichtfarbe eines strahlenden Körpers, z. B. eines Glühdrahtes, mit wachsender Temperatur vom Rötlichen zum Weißlichen übergeht. Temperatur und



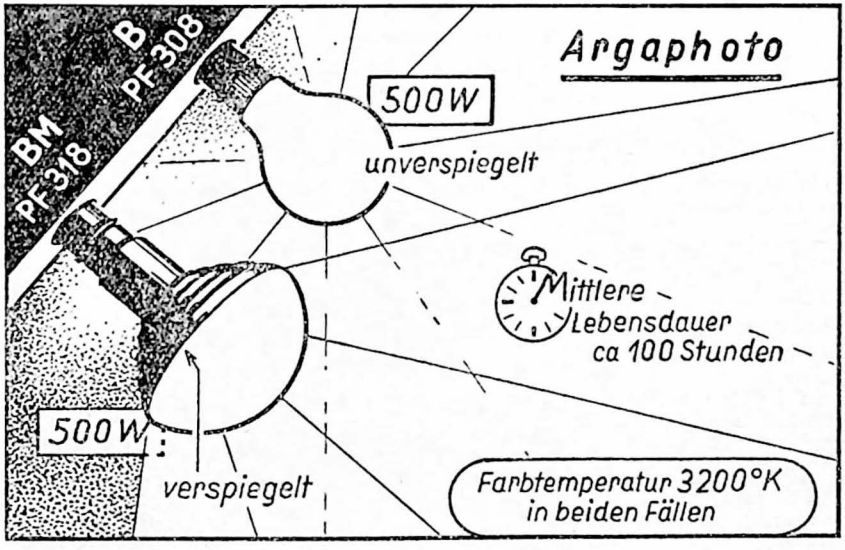
Lichtfarbe hängen mithin voneinander ab. Mit der Temperatursteigerung wächst die Lichtausbeute, deren Maximum bei Werten zwischen 6000° und 7000° Kelvin erreicht wird und bei 93 Lumen je Watt liegt. Bei weiterem Anwachsen der Temperatur sinkt der Anteil an sichtbarem Licht ab, denn nun tritt eine Verschiebung in das Gebiet der unsichtbaren ultravioletten Strahlen auf.

Die höchste Farbtemperatur der für Photozwecke benutzten Anstrahlungsglühlampen liegt bei 3400° Kelvin. Das ist verständlich, wenn man sich der Tatsache erinnert, daß der Schmelzpunkt des Wolframs bei einer Temperatur von rund 3600 °K liegt. Nur die Blitzlampen, auf die später näher eingegangen wird, haben höhere Farbtemperatur-Werte; sie liegen normal bei 4000° und erreichen durch Blaufärbung des Kolbens 6000 °K.

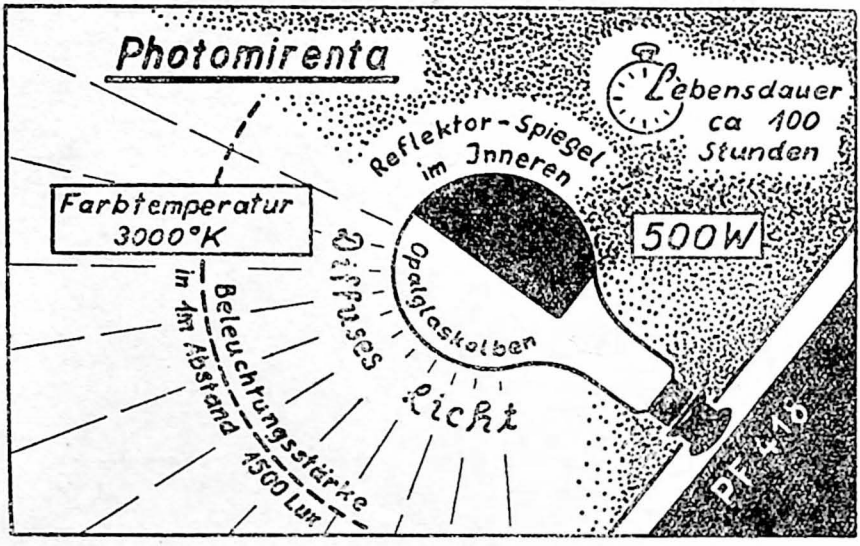
Sie werden vorzugsweise dort benutzt, wo es auf Tonrichtigkeit ankommt, z. B. bei Farbaufnahmen.



Die Photolita-Typen PF 207 und PF 208 unterscheiden sich von den beiden vorher erwähnten lediglich dadurch, daß sie innen nicht verspiegelt sind. Sie sind für Liebhaber- und Berufsphotographen bestimmt, die über eigene Reflektoren verfügen.



Die „Argaphoto"-Lampen haben auf Grund einer etwas geringeren Farbtemperatur (3200°K) eine größere mittlere Lebensdauer. Sie finden Verwendung wie die Photolita-Lampen, und in der Infrarot-Photographie. Sie werden in zwei Typen hergestellt, einer innenverspiegelten und einer unverspiegelten.

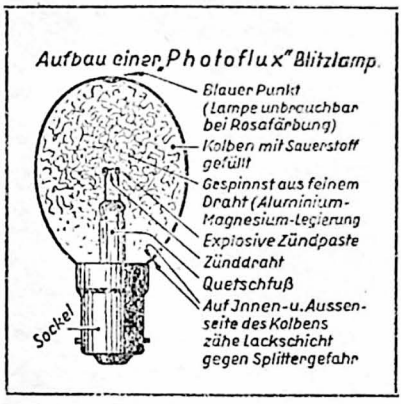


Dort wo bei photographischen Aufnahmen diffuses (zerstreutes) Licht erwünscht ist, dort wo störende Schlagschatten vermieden werden sollen, verwendet man die „Photomirenta" mit Opalglaskolben. Die Lampe enthält eine Innenverspiegelung, die weder beschädigt noch beschmutzt werden kann. Sie eignet sich insbesondere für Porträt-, Innen- und Sachaufnahmen.

2. Blitzlampen („Photoflux")

Die „Photoflux"-Blitzlampen sind Temperaturstrahler wie die Glühlampen. Sie unterscheiden sich von diesen durch einige Merkmale jedoch erheblich. Im Gegensatz zu den Glühlampen für allgemeine Beleuchtungszwecke wird bei den Blitzlampen nicht eine lange Brenndauer angestrebt, im Gegenteil, eine möglichst kurze.

Äußerlich ähneln die „Photoflux"-Blitzlampen kleineren und mittleren Glühlampen: Glaskolben mit Sockel. Ihr Glühdraht, den man in diesem Fall besser „Zünddraht" nennt, ist kurz; er wird genau so wie der Glühdraht eines normalen Temperaturstrahlers elektrisch erhitzt, brennt aber in kürzester Zeit durch. Ein wirres Gewölk feinfädigen Drahtes umgibt ihn und füllt das Innere des Glaskolbens aus. Das



Drahtmaterial besteht aus einer Aluminium - Magnesium - Legierung. Der glühende Zünddraht bringt eine an ihm angebrachte besondere Paste zur Explosion, die wiederum das umgebende Drahtgespinst blitzartig unter starken Lichterscheinungen verpuffen läßt. Der Vorgang wird durch eine Sauerstoffgasfüllung des Glaskolbens unterstützt.

Die eingeführte Sauerstoffmenge ist so dosiert, daß sie zur vollständigen Verbrennung des Aluminium-Magnesium-Drahtgewirres gerade ausreicht. Bei dem plötzlichen Verbrennungsvorgang würde ein Zuviel an Sauerstoff unter Umständen einen so starken Druck entstehen lassen, daß der Glaskolben gesprengt würde. Diese Gefahr besteht z. B. dann, wenn Luft durch einen Sprung im Kolbenglase oder durch andere Ursachen in das Innere der Lampe eingedrungen ist. — Im Inneren der oberen Rundung des Lampenkolbens befindet sich ein blauer Punkt, bestehend aus einem Klümpchen Kobaltsalz. Der Punkt verfärbt sich rosa, wenn die Sauerstoffmenge durch eingedrungene Luft zu groß geworden ist und dient somit als Warnzeichen.

Um jeder Gefahr zu begegnen, die durch ein Zersplittern des Glases auftreten könnte, sind Innen- und Außenwand des Kolbens mit einer zähen Lackschicht überzogen.

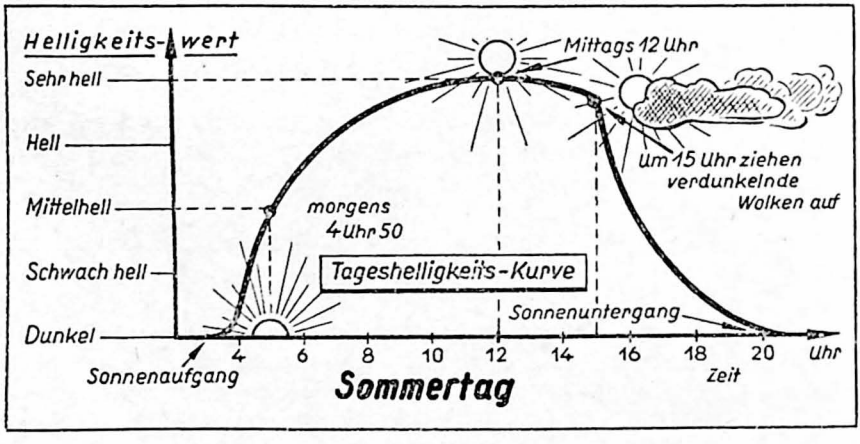
Es ist verständlich, daß die einzelnen physikalischen Daten der Photoflux-Lampen sehr genau eingehalten werden müssen.

Bei den normalen Glühlampen ist der Lichtstrom (gemessen in Lumen) eine aufschlußreiche Maßangabe für ihre Beurteilung. Statt seiner gibt man bei den Blitzlampen in erster Linie den Wert der **Lichtmenge** in Lumensekunden (lms) an. Mit ihr wird die **Lichtarbeit** gekennzeichnet, die bei den photographischen Vorgängen eine besondere Rolle spielt: das Licht, das durch das Objektiv der Kamera fällt, soll ja in der empfindlichen Filmschicht eine gewisse Arbeit vollbringen.

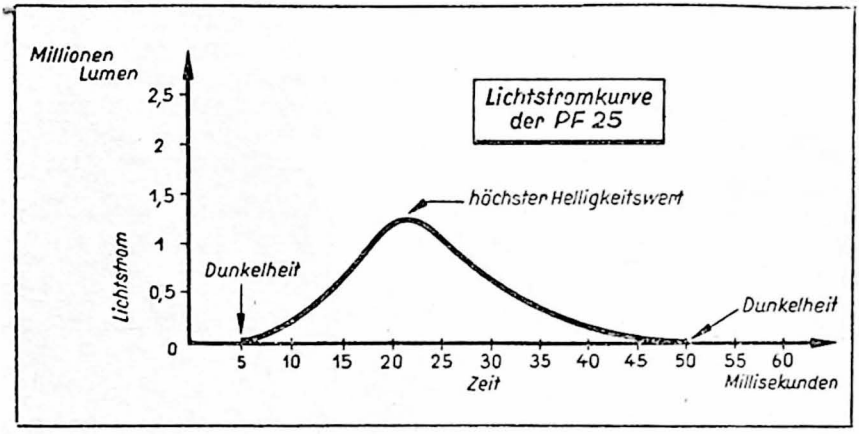
Wie in der Elektrotechnik das längere Aufladen eines Akkumulators einen größeren Effekt zur Folge hat, so auch in der Photographie, bei der eine längere Belichtungsdauer (infolge der Einwirkung einer größeren Lichtmenge) zu einem stärkeren photochemischen Effekt führt.

Die photographische Schicht „empfindet" den Lichteindruck anders als das menschliche Auge. Das Licht der Photoflux-Lampen ist so abgestimmt, daß es der Spektralempfindlichkeit orthochromatischer Photoschichten entspricht. „Spektralempfindlichkeit" heißt soviel wie Empfindlichkeit für die einzelnen Farbwerte, aus denen sich das weiße Licht zusammensetzt.

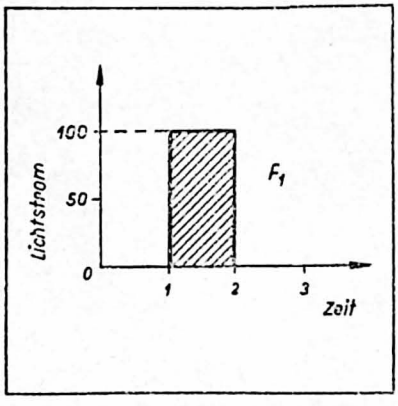
Kurvendarstellungen sind für jene, die sie „lesen" können, von eindringlicher Deutlichkeit. Sie orientieren auf den ersten Blick über die jeweiligen Verhältnisse. Der Arzt braucht nur einen Moment lang auf die Fieberkurve des Kranken zu sehen und er weiß sofort: das Fieber des Patienten ist gefallen oder gestiegen. — Der Wirtschaftler erkennt aus Kurven, schneller als auf irgendeinem anderen Wege, ob z. B. der Absatz im letzten Monat gestiegen oder gefallen ist. Um bei diesem Beispiel zu bleiben: Eine Waagerechte ist in gleichbleibenden Abständen entsprechend der Dauer eines Monats unterteilt. Oberhalb der Waagerechten verläuft die Kurve, die nach dem jeweiligen Absatz fällt oder steigt. Eine senkrechte Skala, entsprechend unterteilt, läßt die Kurvenwerte z. B. in D-Mark Punkt für Punkt erkennen.



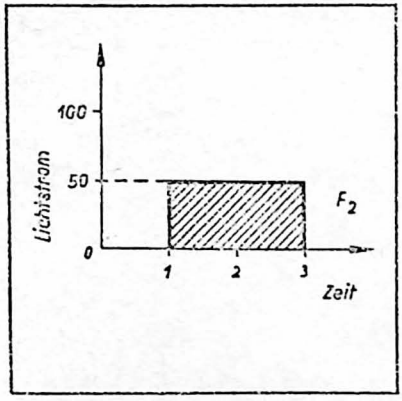
Eine einfache Lichtkurve, die den täglichen Ablauf von Helligkeit und Dunkelheit angibt, ist obenstehend wiedergegeben. Sie läßt sofort erkennen, daß es z. B. an einem Sommertage nach 4 Uhr morgens schnell heller und heller wird, daß es um 12 Uhr mittags am hellsten ist, daß etwa um 15 Uhr dunkle Wolken kommen und daß um 20 Uhr Dunkelheit eingetreten ist.



Einen ähnlichen Verlauf nehmen die Lichtkurven der Blitzlampen. Auf der Senkrechten kann der jeweilige Lichtstromwert abgelesen werden, auf der Waagerechten sind die Zeiten angegeben. Der Lichtstrom ist in Millionen Lumen (Mlm: M = Mega = 1 Million; lm = Lumen) eingetragen, die Zeit in Millisekunden. Etwa nach der 20. Millisekunde wird der Lichtstromhöchstwert erreicht; nach der 50. Millisekunde ist der Blitzlichtvorgang abgeklungen. Die Kurve entspricht den lichttechnischen Eigenschaften der Photoflux-Lampe PF 25.



Eine ideale Blitzlichtkurve sähe anders aus, etwa so, wie durch die Zeichnung angegeben: zu einem bestimmten Zeitpunkt, nennen wir ihn den Zeitpunkt 1 (auf der Waagerechten) setzt das Blitzlicht mit seinem vollen Lichtstrom plötzlich ein, um nach gewünschter Zeitdauer, etwa zum Zeitpunkt 2 ebenso plötzlich und ohne Übergang zu erlöschen. Leider lassen sich ideale Verhältnisse nirgends und niemals erreichen; es gibt im Naturgeschehen keinen übergangslosen Vorgang. —



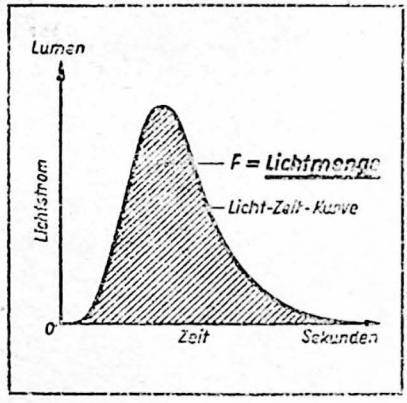
Jene Blitzlicht-Idealkurve würde den Erfordernissen für Momentaufnahmen mit Photoapparaten, die Zentralverschlüsse haben, entsprechen. Hier kommt es darauf an, daß auf die Dauer einer möglichst kurzen Zeitspanne eine hohe Lichtleistung, d. h. ein hoher Lichtstrom auftritt.

Etwas anders sähe die ideale Blitzlichtkurve für Photoapparate mit Schlitzverschlüssen aus (siehe die Zeichnung). Der Blitz ist von längerer Dauer, der Lichtstromwert jedoch geringer.

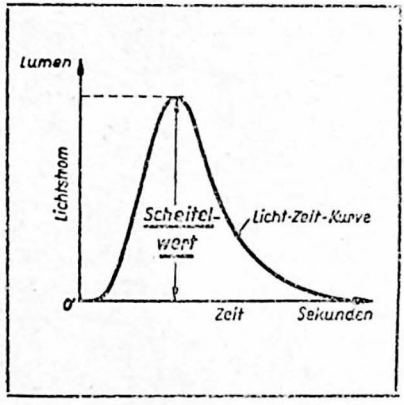
Die Lichtarbeit der Lampe (Lichtmenge in Lumensekunden) wäre in beiden Fällen die gleiche und darauf kommt es an. Der Wert der Lichtarbeit ergibt sich aus dem Produkt Lichtstromwert (Lumen) mal Zeitdauer des Lichteindrucks (Sekunden). Das heißt nichts anderes, als daß die von der Kurve umhüllte Fläche dem Arbeitswert entspricht (Lumen mal Sekunden). Machen wir die Probe aufs Exempel und sehen wir, ob unsere Behauptung der Gleichheit der Lichtarbeit in den beiden Idealfällen stimmt. Im ersten Falle ist die Zeitdauer gleich 1, der Lichtstrom gleich 100; das Produkt ist 100 (Fläche F_1). Im zweiten Fall beträgt die Lichtdauer 2, der Lichtstromwert läßt sich mit 50 ablesen; das Produkt, die Lichtarbeit, ist wiederum 100 (Fläche F_2). Zu bemerken ist, daß für das Beispiel ganz beliebige Zahlenwerte angenommen wurden.

Wie die Verhältnisse praktisch liegen, sahen wir bereits am Beispiel der Kurve, die zur „Photoflux"-Lampe PF 25 gehört.

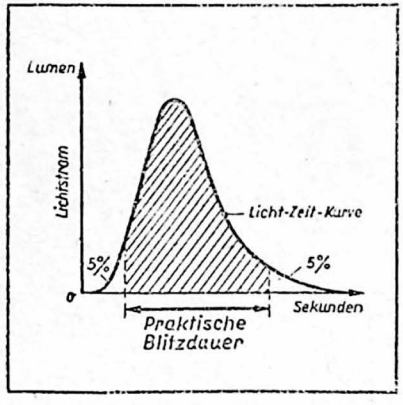
In den Prospekten der Blitzlampen werden viele wichtige technische Angaben über die einzelnen Typen gemacht, die nicht jedem ohne weiteres verständlich sein können. Die entsprechenden Begriffe sollen deshalb im folgenden kurz behandelt werden.



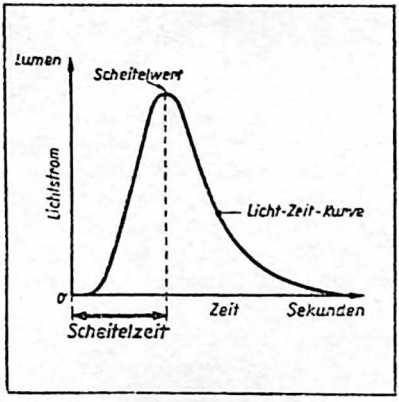
Die **Gesamtlichtmenge** (die gesamte Lichtarbeit) ist — wie gelegentlich der Erwähnung der Idealkurve gesagt wurde — die Fläche (F), die der Kurvenzug umschließt, wenn auf der Waagerechten Zeitwerte und auf der Senkrechten Lichtstromwerte aufgetragen sind. Wie der Inhalt einer solchen Fläche berechnet wird, soll hier nicht geschildert werden, es mag uns genügen, wenn wir wissen, daß dafür einfache Möglichkeiten bestehen. Das Resultat wird bekanntlich in Lumensekunden (Lumen mal Sekunden) angegeben.



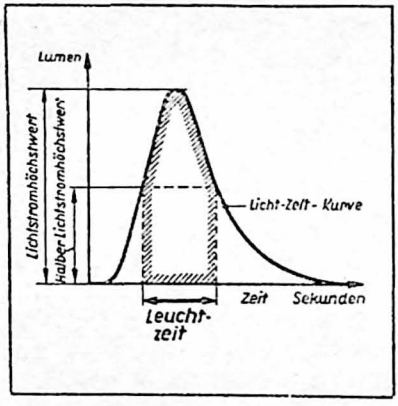
Mit **„Scheitelwert" des Lichtstroms** bezeichnet man den Höchstwert, den die Kurve erreicht. Er wird im allgemeinen in Millionen Lumen (Megalumen) gemessen.



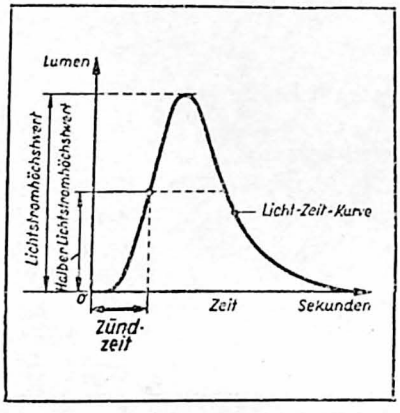
Die **praktische Blitzdauer** (in Sekunden bzw. Millisekunden = tausendstel Sekunden) ist die Zeit, die sich ergibt, wenn man auf beiden Seiten der Kurve (Kurvenanfang und Kurvenende) 5% der kurvenumhüllten Gesamtfläche abgeschnitten hat. Die Lichtstromwerte, die diesen Kurvenenden entsprechen, sind so gering, daß sie photographisch praktisch unwirksam bleiben.



Die **Scheitelzeit** ist die Zeitdauer (in Sekunden bzw. Millisekunden) zwischen dem Augenblick der Blitzauslösung und der Erreichung des Scheitelwertes.



Die **Leuchtzeit** ist die Zeit (in Sekunden bzw. Millisekunden), innerhalb welcher der Lichtstrom gleich oder größer als der halbe Lichtstromhöchstwert ist. Während der Leuchtzeit ist die Lichtabgabe photographisch am wirksamsten, denn während dieser Zeit wird die überwiegende Lichtmenge (Fläche in Lumensekunden) abgestrahlt.



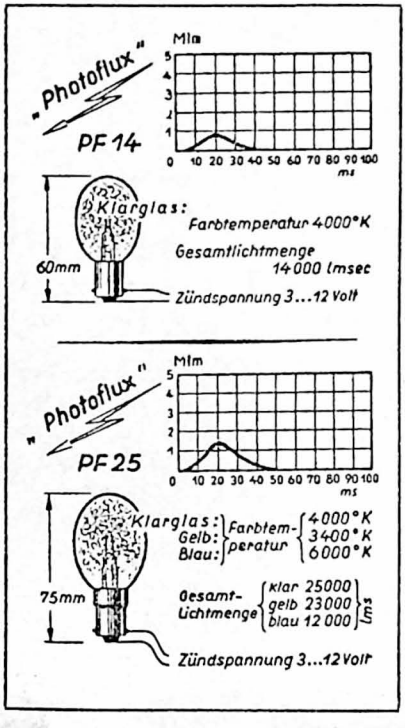
Die **Zündzeit** ist die Zeit (in Sekunden bzw. Millisekunden), die vom Augenblick der Blitzauslösung bis zum Erreichen des halben Lichtstromhöchstbetrages verstreicht. Diese Wertangabe ist wichtig für die Synchronisierung mit dem Verschluß des Photoapparates.

Unter der **Zündspannung** versteht man einerseits die zum Zünden erforderliche und andererseits die höchstzulässige Spannung. Man gibt sie so an: 3 . . . 12 Volt, d. h. daß mindestens 3 Volt zum Zünden erforderlich sind, aber 12 Volt nicht überschritten werden sollen..

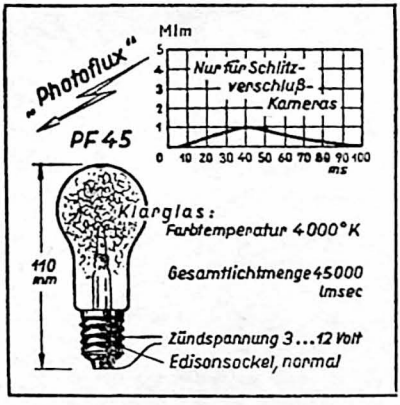
Für den **Zündstrom** wird der erforderliche Mindest-Amperewert angegeben. Er beträgt für die Photoflux-Lampen durchweg 0,4 Ampere.

Von der Bedeutung der **Farbtemperatur** wurde schon gesprochen. Die „Photoflux"-Lampen werden zum Teil mit Klarglaskolben, zum Teil mit farbigen Kolben hergestellt. Die gelben und blauen Lampen sind für die Farbphotographie bestimmt. Sie erübrigen die Verwendung besonderer Vorsatzfilter. Die Gelbglaskolben schwächen die Lichtmenge um 6—8%. Die Farbtemperatur dieser Blitzlampen beträgt rund 3400 °K. Blauglaskolben schwächen die Lichtmenge sehr viel stärker, um rund 50%. Die Farbtemperatur beträgt bei ihnen rund 6000 °K.

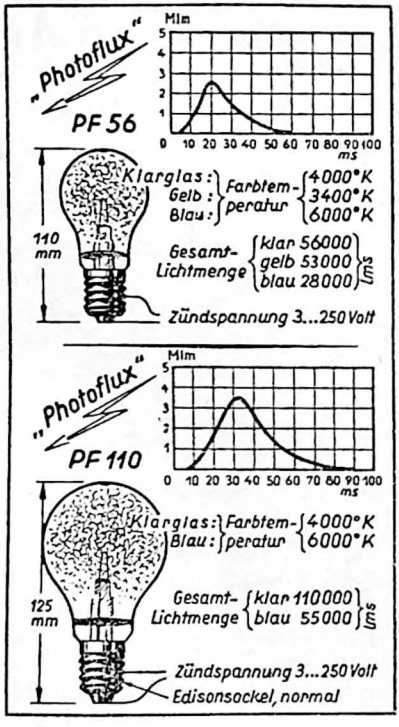
Die verschiedenen „Photoflux"-Lampen kommen dem Ideal, von dem weiter oben gesprochen wurde, so nahe, wie es praktisch überhaupt möglich ist.



Das Programm der PHILIPS-„Photoflux"-Lampen setzt sich z. Z. aus fünf Typen zusammen, die kurz besprochen werden sollen.
Die Typen PF 14 und PF 25 sind mit einem Bajonett-Sockel versehen. Sie sind für die Verwendung zusammen mit Zentralverschluß-Kameras gedacht und werden vornehmlich dann eingesetzt, wenn kleine Personengruppen aufgenommen werden sollen oder wenn es sich darum handelt, zu dunkle Schatten aufzuhellen.



Die PF 45 besitzt normale Edison-Sockel und ist für Kameras mit synchronisiertem Schlitz-Verschluß entwickelt worden. Sie hat eine besonders lange Leuchtzeit, damit ein Lichtabfall nach den Bildrändern hin vermieden wird.



Die PF 56 und 110 E sind wiederum Zentralverschluß-Blitze. Sie unterscheiden sich von den oben genannten Typen dieser Gruppe (PF 14 und PF 25) außer durch ihren Edison-Sockel vor allem durch die wesentlich größere Lichtmenge.

Das ist bereits an der Typen-Nummer zu ersehen: Die Zahl der Typen-Nummer mal 1000 ergibt die Gesamtlichtmenge in Lumensekunden (bei Klarglaskolben).

Sämtliche Blitze können in Verbindung mit teil- und vollsynchronisierten Verschlüssen aber auch im Offenblitz-Verfahren eingesetzt werden (Offenblitz-Verfahren: Öffnen des Verschlusses im verdunkelten Raum, „Photoflux" zünden, Verschluß schließen).

Für die Zündung aller aufgeführten Blitzlampen genügt eine Niederspannungsbatterie von 3 . . . 12 Volt. Besonders sicher erfolgt die Zündung bei Einschaltung eines Kondensators, der dann, von der Batterie aufgeladen, seine gesamte elektrische Energie schlagartig der Lampe zuführt. Bei den Typen PF 56 und PF 110 ist außerdem das Netz mit Spannungen bis zu 250 V verwendbar.

Damit bei der Zündung durch Starkstrom innerhalb der Lampen kein Kurzschluß auftritt, ist eine besondere Schmelzsicherung eingebaut.

3. Lampen für die Dunkelkammer und für Vergrößerungszwecke

Dunkelkammerlampen sind normale Glühlampen mit zweckentsprechend gefärbtem Kolben: Dunkelrot, hellrot, gelb, gelbgrün und grün.

Vergrößerungszwecken dient die Photocrescenta-Lampe, eine Glühlampe großer Leuchtdichte mit Opalglaskolben. Sie wird in fünf Typen geliefert, von denen die 40-, 75-, 150- und 300-Watt-Ausführungen eine Lebensdauer von rund 100 Brennstunden haben, während das 250-Watt-Modell zwar nur 2 Stunden „lebt", aber 6mal lichtstärker ist.

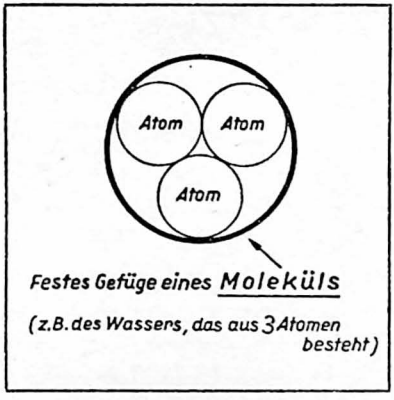
PHILIPS

E) GASENTLADUNGSLAMPEN

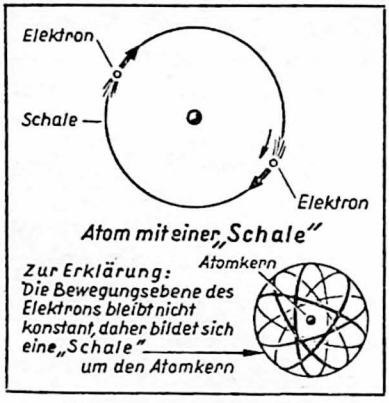
Allgemeines

In den Glühlampen durchfließt der elektrische Strom einen zwischen zwei Zuführungspunkten (Polen) ausgespannten dünnen metallischen Draht und bringt ihn zum Glühen (Temperaturstrahler). Zwischen den Stromzuführungspunkten besteht eine leitende Verbindung, wenn sie auch dem Stromfluß einen gewissen Widerstand entgegensetzt. Den Gasentladungslampen liegt ein ganz anderes Prinzip zugrunde. Zwischen den Stromzuführungspunkten, die man Elektroden nennt, befindet sich ein nichtleitendes Medium: Gas oder Metalldampf. Dieses Medium muß erst leitend gemacht werden, damit „Stromdurchgang" möglich wird. Dann wird ein eigenartig farbiges, für viele Zwecke besonders geeignetes Licht ausgestrahlt (Lumineszenzstrahler).

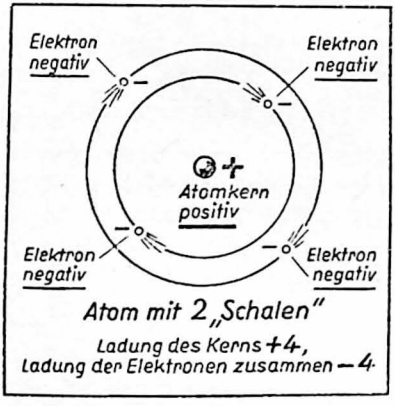
Sowohl im Wolframdraht der Glühlampe wie im Innern der Gasentladungslampe fließen Elektronen von Pol zu Pol bzw. von Elektrode zu Elektrode. Im Glühfaden des Temperaturstrahlers sind die strombildenden Elektronen bereits vorhanden, in der Gasentladungslampe müssen sie erst in genügender Menge erzeugt werden. — Übrigens „Elektroden" und „Elektronen" nicht miteinander verwechseln: Elektronen sind unsichtbare Kleinstgebilde (zum leichteren Behalten: sie sind fast ein Nichts); Elektroden sind greifbare feste Gebilde (zum leichteren Behalten: sie sind dick).



Um das Weitere verstehen zu können, müssen wir mehr über Elektronen wissen als nur, daß sie Kleinstgebilde sind. Tatsächlich gehören sie zu den allerkleinsten Bausteinen der Materie. Jegliche Materie besteht aus unsichtbar kleinen Bestandteilen, die sich auf mechanischem Wege nicht mehr teilen lassen, aus Molekülen (molecula, lateinisch = kleine Masse). Es gibt z. B. Wassermoleküle, Eisenmoleküle, Salzmoleküle, Sauerstoffmoleküle usw. Die Moleküle lassen sich auf chemischem Wege weiter zerlegen. Ein Molekül baut sich nämlich aus Atomen auf. Schon 400 Jahre v. Chr. hat der griechische Philosoph Demokritos den Aufbau der Materie aus kleinsten Bestandteilen gelehrt (atomos, griechisch = unteilbar).

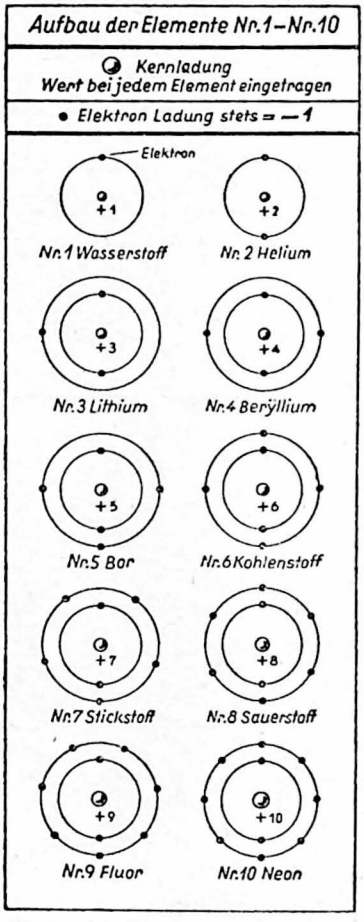


Neuere Forschungen haben ergeben, daß auch die Atome „teilbar" sind. Sie bestehen aus einem Kern, um den in wahnwitziger Geschwindigkeit Elektronen in bestimmten Abständen kreisen. Die Geschwindigkeit der Elektronen ist so groß, daß die Elektronenbahnen - denn meistens sind es mehrere - undurchdringbar feste Schalen um den Kern in der Mitte bilden.

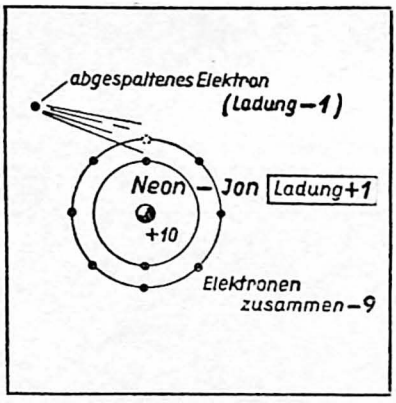


Die Elektronen haben einen Durchmesser, der in der Größenordnung eines zehnbillionstel Zentimeters liegt. Sie sind also ganz unvorstellbar klein. Trotzdem weiß man, daß sie negativ elektrisch geladen sind. Im Gegensatz zu den Elektronen ist der Atomkern positiv elektrisch. Beide Ladungen halten sich das Gleichgewicht, wie zwei Kilogramm auf der einen Waagschale zwei Kilogramm auf der anderen die Waage halten.

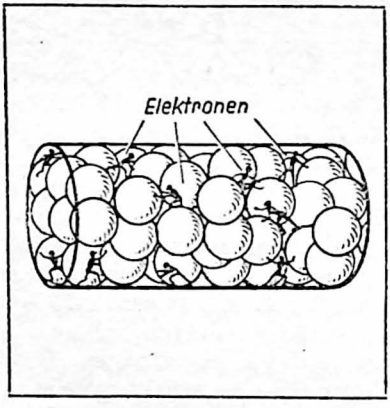
Jene Elektronen, die mit dem Kern zusammen die Atome bilden, sind gebunden, d. h. sie können das Atomgefüge nicht ohne weiteres verlassen. Doch es gibt — wie wir weiter unten sehen werden — stärkere und schwächere „Bindungen" der Elektronen zu ihren Kernen.



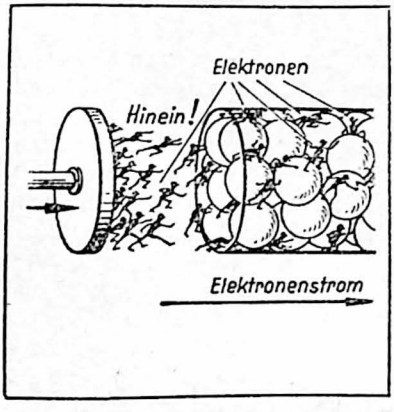
Wenn wir eine Tabelle der chemischen Elemente (der Grundstoffe) zur Hand nehmen — wir finden sie in jedem Lexikon —, dann sehen wir, daß der Wasserstoff mit der Ordnungsnummer 1 an der Spitze der langen Reihe steht, die über das Radium mit der Ordnungsnummer 88, noch hinausgeht. Die jeweilige Ordnungsnummer gibt gleichzeitig an, wieviel Elektronen den Kern umkreisen. Beim Wasserstoffatom hat man es mit nur einem Elektron zu tun, das auf einer „Schale" den Kern umsaust. An zweiter Stelle steht das Helium, ein Gas wie das Wasserstoffgas. Zwei Elektronen bewegen sich auf einer Schale um den Kern. Beim Lithium, dem Element Nr. 3, sind drei Elektronen im Spiel, von denen sich zwei auf einer inneren Bahn (Schale) bewegen und ein weiteres auf einer zweiten äußeren Bahn (2 Schalen). Bis zum Element 10, dem Neon, umgeben zwei Schalenbahnen den Atomkern. Dann folgen Elemente mit drei bis sieben Schalen. Die 88 Elektronen des Radiums verteilen sich z. B. auf sieben getrennte Bahnen. — Bei den Versuchen, Elektronen aus dem Atomverband zu reißen — es gibt verschiedene Möglichkeiten —, lösen sich am leichtesten die in der äußersten Schale kreisenden.



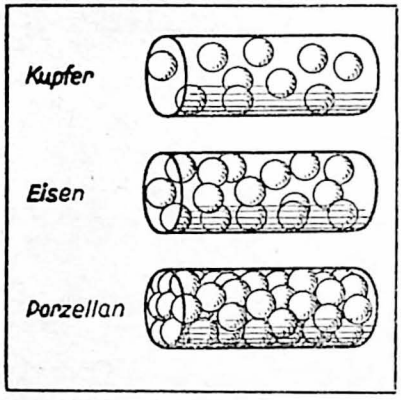
Das Atom selbst ist elektrisch neutral, da, wie oben bereits ausgeführt, die positiven Ladungen den negativen die Waage halten. Ist es auf irgendeine Weise gelungen, ein Elektron aus dem Atomverband abzuspalten, so verbleibt ein Atomrest, der positiv elektrisch geladen ist; man nennt ihn I o n. Innerhalb der Gasentladungslampen gehen derartige Abspaltungen, wie wir noch sehen werden, vor sich.



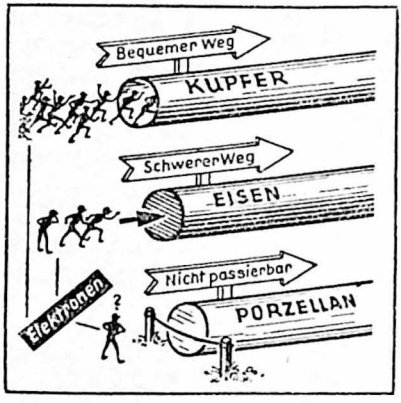
In metallischen Leitern sind es Elektronen, die den Stromfluß zustandekommen lassen. Zwischen den Atomen der Stoffe, insbesondere zwischen den Atomen der Metalle halten sich „freie" (ungebundene) Elektronen auf; je nach dem Stoff sind es mehr oder weniger. Sie bewegen sich in beliebigen Richtungen. Das Bild deutet sie vergleichsweise durch kleine schwarze Männchen an. Der Zylinder ist ein Teilstück eines Leitungsdrahtes.



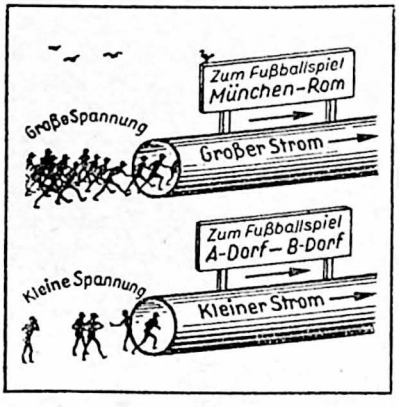
Drücken — etwa am Anfang der Leitung — neue Elektronen nach (z. B. bei der Stromerzeugung), dann geraten die im Draht befindlichen freien Elektronen in eine gerichtete Bewegung. Sie können leicht weiterkommen, wenn genug Platz zwischen den Atomen vorhanden ist, es bildet sich ein Elektronenstrom: der elektrische Strom ist nichts anderes als ein Elektronenstrom.



Es kommt aber zu einem bösen Drängeln der Elektronen, zu einem schwierigen Vorwärtskommen, wenn die Zwischenräume eng sind. Beim Kupfer sind sie groß, beim Porzellan so gut wie nicht vorhanden. In dem einen Fall kann ein großer Elektronenstrom entstehen, im anderen kommt er überhaupt nicht zustande. Ein weiterer Faktor ist zu berücksichtigen: nicht immer sind genügend freie Elektronen vorhanden, die den Stromfluß ermöglichen.



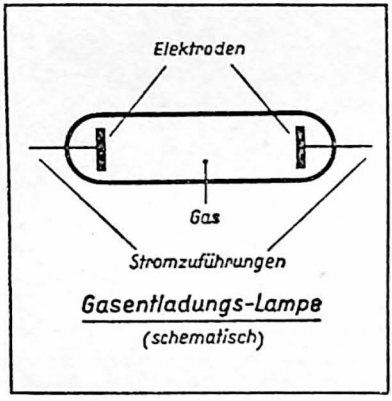
So erklärt es sich, daß einige Stoffe den elektrischen Strom gut, andere schlecht oder gar nicht hindurchlassen. Entsprechend unterscheidet man: gute Leiter, schlechte Leiter oder Nichtleiter.



Entscheidend für die Größe des auftretenden Stromes, also des Elektronenstromes, ist ferner die Spannung. Im Bild v e r g l e i c h ist es die Spannung, die die Elektronenmännchen durch die metallischen Leitungen treibt. Aber eine noch so hohe Spannung könnte sie nicht durch eine Porzellanleitung zwingen.

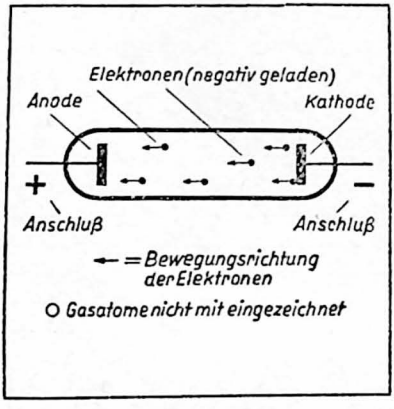
Die Zahl der in elektrischen Strömen durch Leiter fließenden Elektronen ist ungeheuerlich groß. Durch die Leitungsteile einer 100-Watt-Lampe (Zuführungen und Wolframdraht) strömen in jeder Sekunde etwa 6 Trillionen Elektronen!

Nach dieser kurzen Orientierung über Elektronen und Elektronenströme können wir uns mit den grundsätzlichen Vorgängen in den Gasentladungslampen befassen.

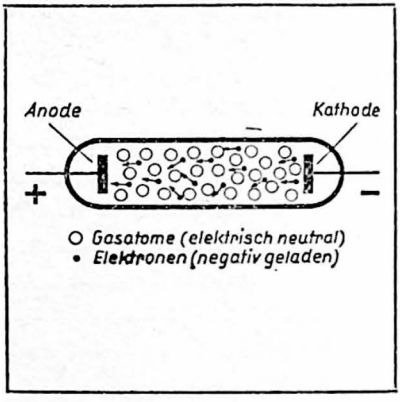


Gasentladungs-Lampe
(schematisch)

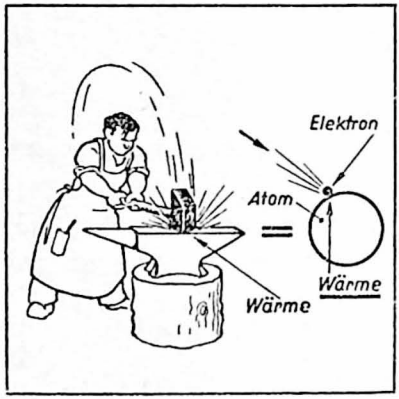
Im Prinzip besteht eine Gasentladungslampe aus einem luftdicht verschlossenen gasgefüllten Glaskörper, in den zwei Elektroden eingeführt sind. — Zwischen den beiden Stromzuführungspunkten, den Elektroden, besteht keine „Verbindung" im elektrischen Sinne, denn Gase gehören im allgemeinen zu den Nichtleitern; freie Elektronen sind in Gasen nur in sehr geringer Zahl vorhanden. — Um einen kräftigen Stromfluß zustande zu bringen, müssen zusätzlich freie Elektronen erzeugt werden.



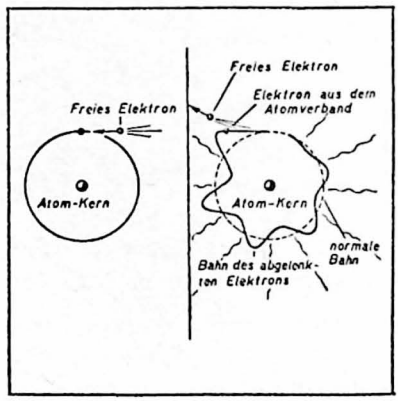
Nehmen wir an, daß die Zahl der ursprünglich vorhandenen freien Elektronen für das Zustandekommen eines schwachen Stromes gerade eben ausreicht, wenn an die Elektroden der Gasentladungslampe eine Gleichspannung gelegt wird. Die im Rohr vorhandenen freien Elektronen (schwarze Punkte) geraten in Bewegung. Sie werden wegen ihrer negativen Ladung von der positiven Elektrode angezogen, von der negativen abgestoßen. Wie bei den Rundfunkröhren bezeichnet man die positive Elektrode mit A n o d e, die negative mit K a t h o d e.



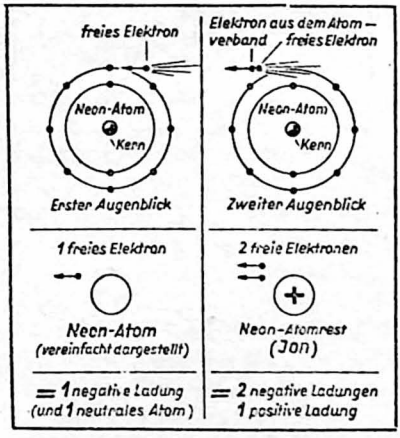
Bei diesem Bewegungsvorgang stoßen die Elektronen auf die zahlreich vorhandenen Gasatome und werden dabei etwas von ihrer Bahn abgelenkt; sie streben aber im Endeffekt doch alle wieder in Richtung Anode. Bei geringer Elektronengeschwindigkeit (die Geschwindigkeit hängt stark von der an die Elektroden gelegten Spannung ab) versetzt das aufprallende Elektron das gestoßene Atom in Schwingungen, es gibt Energie an das Atom ab. Die Schwingungen äußern sich als Wärme: das Gas im Innern erwärmt sich.



Der Vorgang kann mit einem Hammerschlag auf den Amboß verglichen werden: die Energie des fallenden Hammers wandelt sich beim Aufprall in Wärme um.

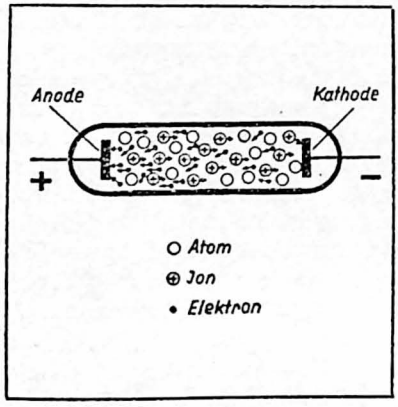


Ist die Geschwindigkeit des stoßenden Elektrons groß, so ist es imstande, ein Elektron des Atoms aus seiner ursprünglichen Schalenbahn „anzuheben". Dazu wird seine Stoßenergie verbraucht. Das aus seiner Bahn geworfene, „angeregte" Elektron kehrt in einer Schwingbewegung um seine Normalbahn auf diese zurück, so wie ein angestoßenes Pendel nach einigem Hin und Her seine Ruhelage wieder einnimmt. Diese Schwingungen (schneller und kürzer als die vorhin erwähnten Wärmeschwingungen) geben die beim Stoß aufgenommene Energie wieder frei, die wir als Licht sehen: das Gas leuchtet.

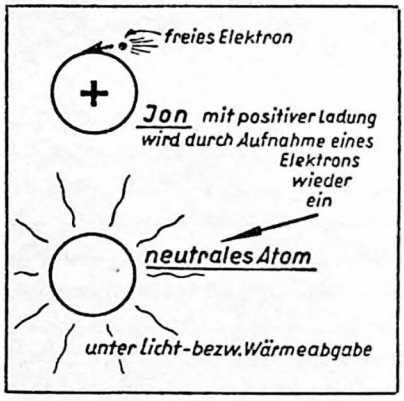


Bei noch größerer Geschwindigkeit kann es dem frei fliegenden Elektron gelingen, ein atomgebundenes Elektron aus dem Verband herauszuschleudern, so daß aus dem neutralen Atom ein positiv geladener Atomrest, ein Ion, entsteht. Einen solchen Vorgang, der sich nicht auf ein Atom beschränkt, nennt man Ionisierung.

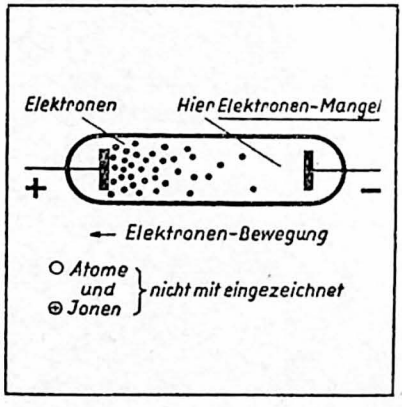
Das bei der Ionisierung frei gewordene Elektron bewegt sich wie die übrigen zur Anode hin und trifft dabei auf andere Gasatome. Je nach der Größe seiner Geschwindigkeit lockert es beim Aufprall ein zu einem Atom gehöriges Elektron oder es wirft ein Elektron aus dem Atomverband, wie soeben beschrieben.



Am Ende ist eine größere Zahl von Elektronen und Ionen im Rohr vorhanden. Die Ionen mit ihrer positiven Ladung streben der negativ geladenen Kathode zu.

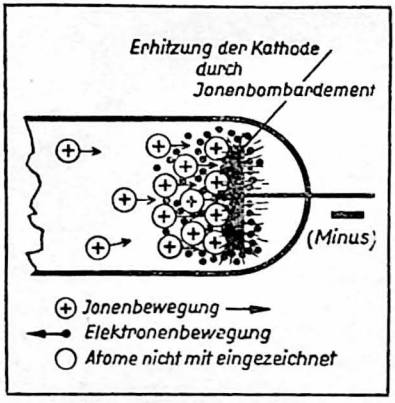


Ein Ion kann, wenn es von einem Elektron getroffen wird, unter Energieabgabe wieder zu einem elektrisch neutralen Gasatom werden. Die freigewordene Energie äußert sich in Form von Wärme oder Licht.



Die Elektronen haben eine viel geringere Masse als die Ionen (Ionenmasse = 2000- bis 500 000mal größer als Elektronenmasse). Daher fliegen die Elektronen in der Gasentladungsröhre zwischen den Elektroden viel schneller von hier nach dort als die Ionen in umgekehrter Richtung. An der Kathode entsteht ein Elektronenmangel.

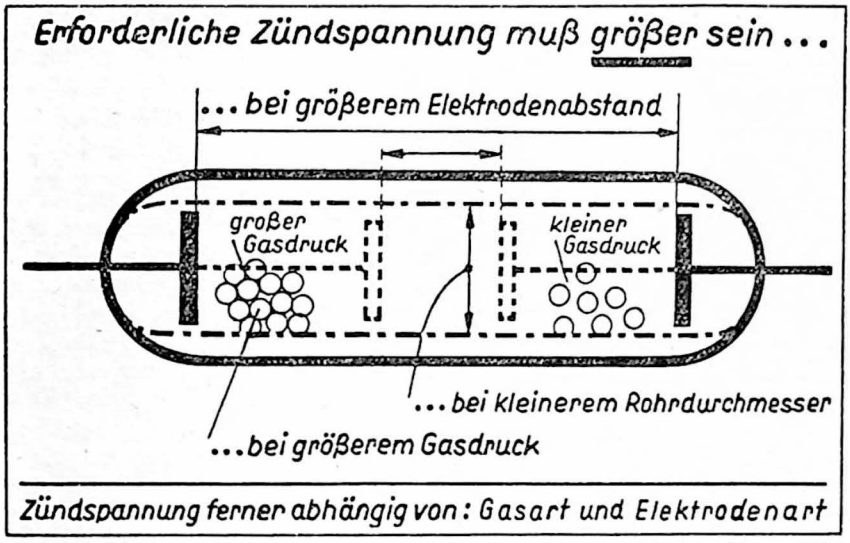
Prallen dann aber die Ionen auf die Kathode, so ziehen diese in gewissem Sinne Elektronen — und zwar in großer Zahl — aus der Kathode heraus, neue Elektronen, die sich an dem Prozeß beteiligen können. — Die Glimmentladung, wie wir sie praktisch von den Glimmlampen her kennen, setzt ein.



Bei der Bombardierung der Kathode durch die Ionen wird diese erhitzt. Dadurch werden immer weitere Elektronen veranlaßt, aus der Kathode herauszutreten. — Die Kathoden der Rundfunkröhren werden „geheizt", damit sie eine möglichst große Zahl von Elektronen „emittieren" (aussenden) können.

War die „Entladung" vorher nur auf die wenigen freien Elektronen zwischen den Gasatomen angewiesen, so ist sie jetzt unabhängig von ihnen und die Glimmentladung geht in die angestrebte „Bogenentladung" über. — Das sind in großen Zügen die Vorgänge in der Gasentladungslampe; in Wirklichkeit sind sie viel komplizierter.

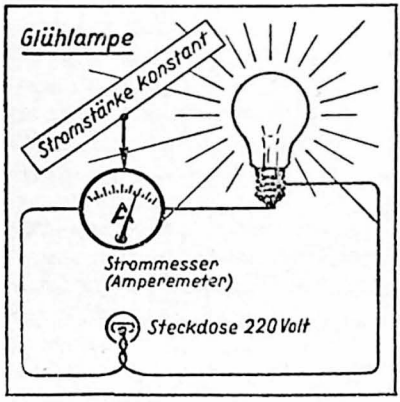
Bisher wurde einfach angenommen, daß die elektrische Spannung zwischen den beiden Elektroden groß genug war, um die beschriebenen Erscheinungen bis zur „Zündung" hervorzurufen. Auf jeden Fall ist eine Mindestspannung zur Einleitung der Vorgänge im Rohr erforderlich. Man nennt sie „Zündspannung". Die Zündspannung muß groß genug sein, um den wenigen vorhandenen Elektronen die erforderliche Geschwindigkeit zu verleihen, damit sie wirksam werden können. (Etwa wie der Druck, mit dem man einen Wagen anschieben will, groß genug sein muß, um eine Bewegung hervorzurufen.)



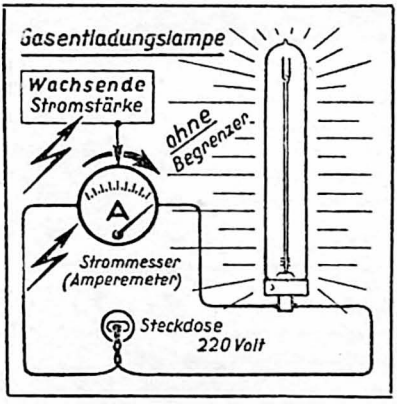
Der Zündspannungswert (in Volt) richtet sich nach verschiedenen Faktoren, so nach dem Abstand der Elektroden voneinander (je größer dieser ist, um so größer muß der Zündspannungswert sein). Maßgebend ist ferner der Gasdruck im Rohr: verständlich, da mit einer größeren Zahl von Gasatomen die Entfernung zwischen den Atomen geringer wird und damit die Wahrscheinlichkeit, daß ein Elektron zwischen zwei Zusammenstößen die zur Ionisierung erforderliche hohe Geschwindigkeit bereits erreicht hat. Weitere Faktoren, von denen die Zündspannung abhängt, sind Gasart, Röhrendurchmesser, Form und Art der Elektroden.

Die Zündung kann durch geheizte Elektroden, die mit elektronenemittierenden Stoffen präpariert sind, sehr erleichtert werden.

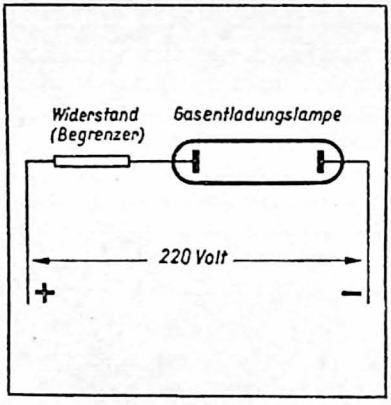
Durch geeignete Wahl der verschiedenen Werte hat man es in der Hand, die Zündspannung auf den Netzspannungswert zu bringen.



Wenn man eine Glühlampe an die für sie bestimmte Spannung legt, z. B. an 220 Volt oder an 110 Volt, so wächst die den Faden durchfließende Stromstärke nicht weiter an. Sie wird durch den Widerstand des Fadenmaterials (nach dem Ohmschen Gesetz) begrenzt: bei gegebener Spannung und gegebenem Widerstand kann nur eine ganz bestimmte Stromstärke auftreten.



Ganz anders verhalten sich die Gasentladungslampen. Bei fester Spannung kann die Stromstärke sehr hohe Werte annehmen, die Leitfähigkeit wird ständig größer (bei der Glühlampe bleibt sie konstant), d. h. der Widerstand wird mit zunehmender Ionisierung immer geringer. Das hat zur Folge, daß die Stromstärke lawinenartig anwächst. Die Folge wäre eine Zerstörung der „Lampe". Die Zuschaltung eines „Strombegrenzers" ist daher unumgänglich. Im Vergleich: dem bergabfahrenden Wagen müssen Bremsen angelegt werden.

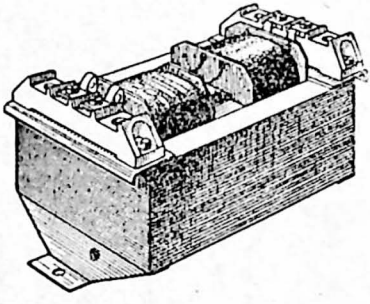


Bei Gleichstrombetrieb wird ein ohmscher Widerstand als Strombegrenzer der Lampe vorgeschaltet. Allerdings muß ein hoher Energieverlust mit in Kauf genommen werden. — Die Strombegrenzung nennt man auch „Stabilisierung".

Drosselspule (Begrenzer)
mit Anzapfungen für verschiedene Spannungen

Daß die Gasentladungslampen ebenso mit Wechselstrom wie mit Gleichstrom betrieben werden können, dürfte um so verständlicher sein, wenn man weiß, daß die weiter oben geschilderten Vorgänge sehr schnell vonstatten gehen. Ja, die Techniker ziehen den Wechselstrombetrieb aus den verschiedensten Gründen durchaus vor, obwohl die pulsierende Stromstärke des Wechselstromes auch ein Pulsieren (Flimmern) des Lichtes zeitigt. — Statt des Vorschalt-

widerstandes als Begrenzer, benutzt man bei Wechselstrom zur Stabilisierung besser eine Drosselspule. Ihr Name besagt schon, daß sie den Strom zu „drosseln" vermag (aber nur Wechselstrom). — Kondensatoren könnten ebenfalls zur Strombegrenzung herangezogen werden; sie bringen aber wie die Vorschaltwiderstände einen Nachteil mit sich: sie dämpfen das Flimmern des Lichtes weniger als es die Drosselspulen tun. Die kombinierte Verwendung von Drossel und Kondensator (letzterer wird in diesem Fall parallel zum Netzanschluß gelegt) schafft besonders günstige Verhältnisse, auf die in späteren Kapiteln näher eingegangen wird.



Transformator für Gasentladungslampen

Schließlich lassen sich Transformatoren zur Vorschaltung benutzen, d. h. besonders Transformatoren, denen man erhöhte Drosselwirkung verleiht. Sie sind dort am Platze, wo man genötigt ist, eine zu geringe Netzspannung auf eine höhere zu bringen.

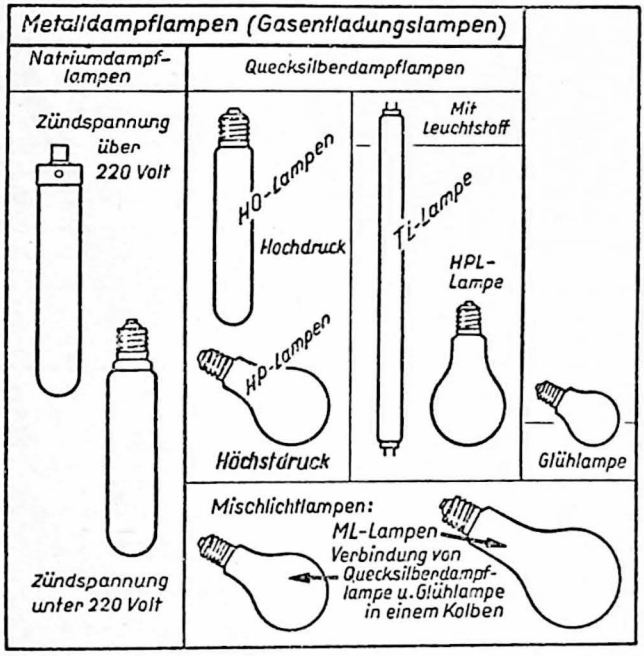
Zum Schluß dieses Kapitels, das in die Theorie der Gasentladungslampen einführen sollte, während später auf die einzelnen Typen näher eingegangen wird, ein Hinweis: Glühlampen (Temperaturstrahler) erzeugen ein Licht, das praktisch alle Farben des Spektrums enthält, vom Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau bis zum Violetten. Gasentladungslampen (Lumineszenzstrahler) senden bevorzugt Licht bestimmter Farbtöne aus.

PHILIPS

F) METALLDAMPFLAMPEN

1. Natriumdampflampen

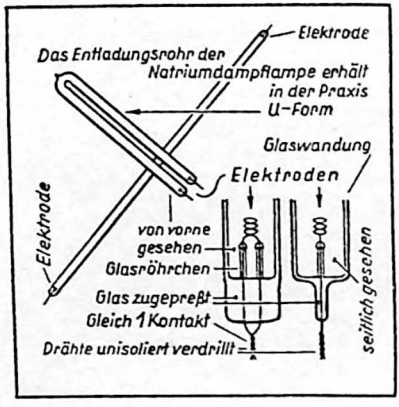
Das vorige Kapitel hat das theoretisch Grundlegende der Entladungslampen gestreift, während im folgenden auf die einzelnen Arten dieser Lichtquellen näher eingegangen wird. Unter ihnen kommt den Metalldampflampen eine besondere Bedeutung zu. Man unterscheidet u. a. Natriumdampf- und Quecksilberdampflampen. Zu den letzteren gehören auch die Leuchtstofflampen.



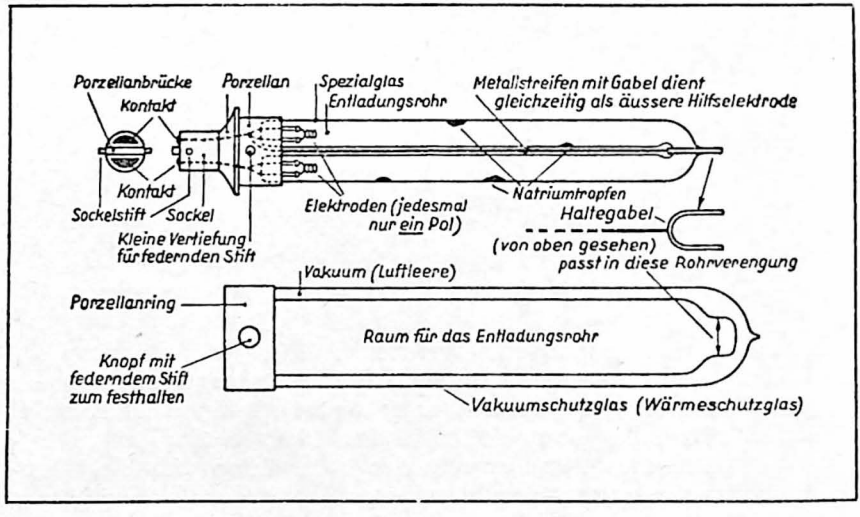
Die Natriumdampflampen enthalten zur Einleitung der Zündung ein Edelgas. Meist wird — wie bei den PHILIPS-Natriumdampflampen — Neon verwendet. Das Gas, das unter einem niedrigen Druck steht, spielt nur eine untergeordnete Rolle. Gleichfalls in der Lampe enthaltenes metallisches Natrium ruft den eigentlichen Lichteffekt hervor. Nach der Zündung des Neongases strahlt das Entladungsrohr ein rötliches Licht ab. Durch die dabei auftretende Erwärmung verdampft das Natrium. Allmählich wird der Dampfdruck in der Lampe höher und die natrium-atomaren Prozesse gehen zwischen den Elektroden, so wie es im vorigen Kapitel erläutert wurde, vor sich. Das zuerst schwachrötliche Neonlicht geht in strahlendes Gelb über.

Wenn man es so ausdrücken darf: Gelb ist die Farbe des Natriums, Kochsalz ist eine Natriumverbindung. Eine Spur davon in eine Flamme gebracht, ruft eine kräftige gelbe Färbung hervor. Man braucht das

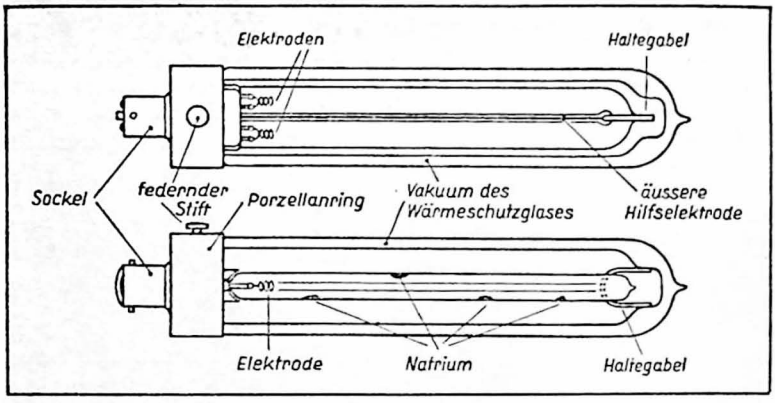
Experiment gar nicht zu machen, denn man weiß, daß die Gasflamme in der Küche beim Überkochen von Speisen, in denen immer eine Natriumverbindung in irgendeiner Form enthalten ist, gelb aufflackert. Anderen Elementen entsprechen andere Farben; das Metall Strontium färbt z. B. prächtig karminrot, Neongas orangerot.



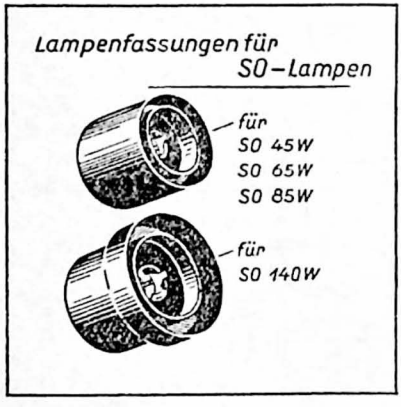
Der grundsätzliche Aufbau der Natriumdampflampe ist einfach. Ein langes Entladungsrohr mit zwei Elektroden an den Enden ist U-förmig zusammengebogen wie es das Bild zeigt. Die Elektroden erhalten allerdings in der Praxis eine andere Form als auf dem Bilde.



Das offene U-Ende wird gesockelt. Am U-Bogen wird eine gabelförmige Haltevorrichtung, die man auf dem folgenden Bilde deutlich erkennen kann, angebracht. Über den eigentlichen Lampenkörper wird ein doppelwandiges geschlossenes und luftleer gemachtes Wärmeschutzglas gestülpt, auf dessen Bedeutung weiter unten eingegangen wird.

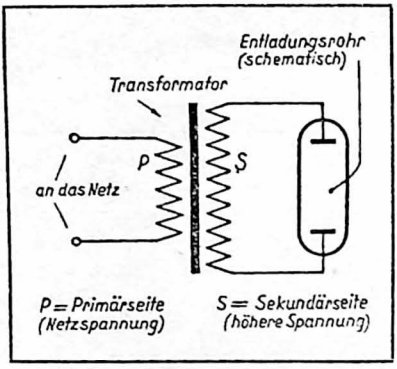


Das Bild zeigt die zusammengesetzte Natriumlampe in zwei Lagen. Durch einen federnden Stift wird das Wärmeschutzglas am Sockel des Gasentladungsrohres in einem Porzellanring festgehalten. Die gabelartige Haltevorrichtung am anderen Ende paßt genau in eine Vertiefung des Vakuumglases hinein, so daß das Entladungsrohr innerhalb des Wärmeschutzglases festliegt.

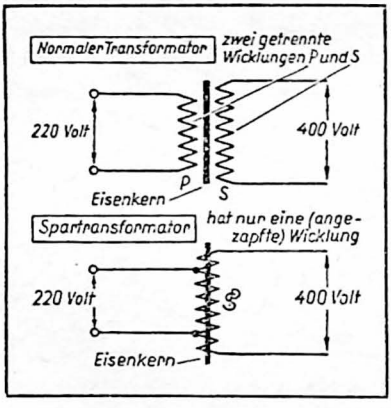


Für die Natriumdampflampen wurden besondere Fassungen konstruiert, deren Form nebenstehendes Bild zeigt.

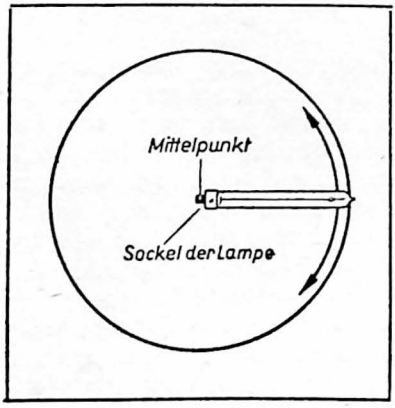
Die Lichtaussendung erfolgt bei einer Temperatur des Natriumdampfes von etwa 280° Celsius. Diese Temperatur muß eingehalten werden, wenn die Lichtabgabe gleichmäßig bleiben soll. Daher muß eine Einrichtung vorgesehen werden, welche die Wärmeverluste auf ein Minimum beschränkt. Sie besteht in dem vorerwähnten Wärmeschutz-Vakuumglas. Hier wird das gleiche Prinzip angewendet, das von der Thermosflasche her bekannt ist. Allerdings sorgt bei der kaffee-warmhaltenden Flasche eine für die Lampe natürlich nicht mögliche Verspiegelung des Glaskörpers zusätzlich für gute Wärmeisolierung. Jedenfalls genügt die getroffene Einrichtung, um die Temperatur im Innern des Entladungsrohres weitgehend von der Außentemperatur unabhängig zu machen.



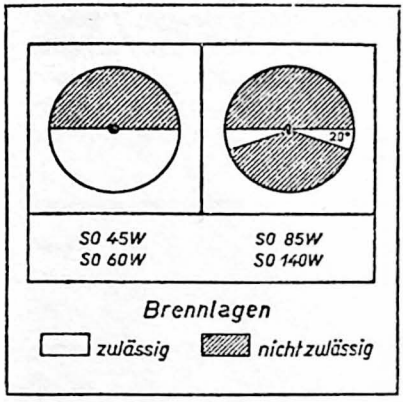
Da die Netzspannung nicht ausreicht, um die Zündung einzuleiten, bedarf es der Vorschaltung eines spannungserhöhenden Transformators, dessen Sekundärseite die Zündspannung liefert.



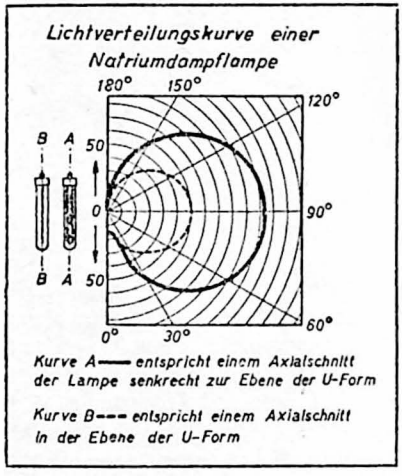
Der Vorschalttransformator wird meist als „Spartransformator" ausgeführt; das ist ein Umspanner, der nur e i n e (mit Anzapfungen versehene) Wicklung trägt. Man kann sich den Spartransformator aus einem normalen Umspanner durch Ineinanderschieben der beiden Wicklungen entstanden denken. Einen Spartransformator für die Herauftransformierung einer Netzspannung von 220 Volt auf 400 Volt zeigt der untere Bildteil. 400 Volt ist ein Spannungswert, wie er für bestimmte Natriumlampen erforderlich ist. Die Wirkungsweise der beiden Transformatorenarten ist die gleiche. Zu beachten ist nur, daß die Primärwicklung beim Spartransformator nicht von der Sekundärwicklung getrennt ist.



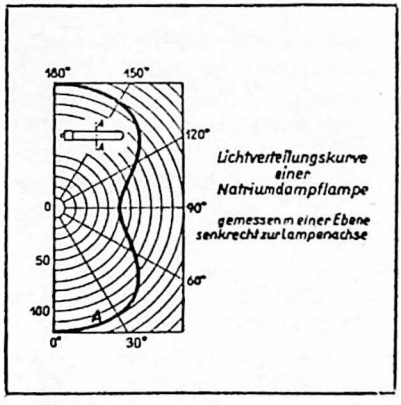
Die Natriumlampen dürfen je nach ihrer Konstruktion nur in bestimmten Stellungen, mit bestimmten Neigungen, montiert werden. Man gibt die „verbotenen" und „erlaubten" Stellungen (auch für andere Lampenarten) durch besondere bildliche Darstellungen an. Man muß sich den Sockel der (gewöhnlich nicht eingezeichneten) Lampe im Mittelpunkt eines Kreises vorstellen, innerhalb dessen die Lampe verschiedene Neigungen annehmen kann.



Die unzulässigen Neigungen entsprechenden Kreissektoren werden schraffiert, die anderen weiß gelassen. — Die zulässigen Brennlagen der vier gebräuchlichen PHILIPS-Natriumdampflampen, die — nebenbei gesagt — alle über einen Transformator betrieben werden, sind nebenstehend auf die beschriebene Weise angegeben.



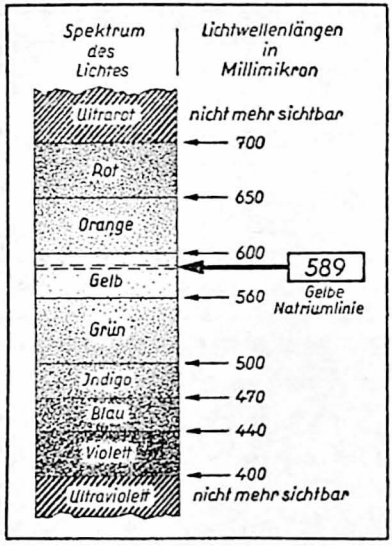
Die Lichtverteilungskurve der Natriumdampflampen ist günstig. In der Abbildung sind zwei Kurven enthalten, die eine, stark ausgezogene, entspricht einem Axialschnitt durch die Lampe senkrecht zur Ebene der U-Form, die andere, gestrichelte, einem Axialschnitt in der Ebene der U-Form.



Das zweite Diagramm gibt die Lichtverteilung in einer Ebene senkrecht zur Lampenachse an.

Die Lichtausbeute der Natriumdampflampen ist sehr groß, da ein wesentlicher Energieanteil durch Lichtwellen innerhalb des sichtbaren Spektrums abgestrahlt wird (85%). Die Lichtausbeute ist etwa viermal so groß wie die normaler Glühlampen gleicher Leistung. Die folgende Tabelle gibt Aufschluß über die lichttechnischen Daten der vier oben erwähnten PHILIPS-Natriumdampflampen.

Type	Lichtstrom lm	Lichtausbeute lm/W	Leuchtdichte sb
SO 45 W	2700	41	10
SO 60 W	4300	53	10
SO 85 W	7000	66	10
SO 140 W	11000	67	10



Lebensdauer der Lampen: 3000 Stunden.

Die Strahlung der Natriumdampflampen entspricht zum weitaus größten Teil der Lichtwellenlänge 589 Millimikron. Sie liegt also im Gelben. Es fehlen fast alle übrigen im weißen Licht enthaltenen Farbtöne. Infolgedessen erscheinen die mit Natriumdampflampen beleuchteten Gegenstände in gelblichen Farbtönen, die abgestuft ins Graue und Schwarze übergehen.

Jeder Gegenstand reflektiert nur die seinen Farbwerten entsprechenden Lichtwellen. Ein rein roter Körper reflektiert nur reines Rot, ein blauer nur blaue Lichtstrahlen. Oder — um genauer zu sein: Nur Wellen, die den Eindruck „rot" oder „blau" im Auge erzeugen, werden zurückgestrahlt.

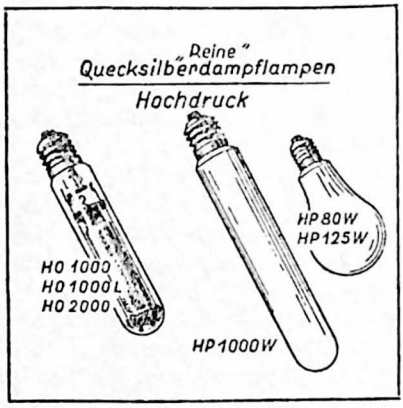
Da kaum ein Gegenstand reinfarbig ist, wird bei seiner Bestrahlung mit farbigem Licht, z. B. mit gelbem Licht, das Licht von den Stellen mit stärkeren oder schwächeren Gelbbeimischungen entsprechend zurückgeworfen. Nur ein weißer Körper reflektiert Licht aller Wellenlängen des spektralen Farbbandes.

Wenn man die mit Natriumdampflampen beleuchteten Gegenstände auch nicht farbgerecht sehen kann, so tritt doch eine merkliche Steigerung der Sehschärfe ein. Der Unterschied in der Sehschärfe bei „weißem" oder „monochromatischem" (einfarbigem) Licht wird bei kleinen Leuchtdichten, wie z. B. bei der Straßenbeleuchtung, besonders auffallend. Bemerkenswert ist, daß die Farbwahrnehmbarkeit des menschlichen Auges erst bei Werten über 10 Apostilb einsetzt, d. h. daß man bei geringeren Leuchtdichten ohnehin nur zwischen Hell und Dunkel unterscheiden kann.

Besondere Vorteile der Beleuchtung mit Natriumdampflampen sind der billige Betrieb, die verminderte Blendwirkung, der erhöhte Kontrastreichtum der beleuchteten Gegenstände. Die Wahrnehmungsgeschwindigkeit ist im Natriumdampflicht größer als im Glühlampenlicht. Das gilt sowohl für ruhende als auch für bewegte Gegenstände.

Aus den genannten Gründen eignen sich die Lampen besonders für die Beleuchtung von Straßen, Bahnanlagen, Kanälen, Schiffswerften, Fabrikhöfen, Sportplätzen, für die Anstrahlung von Gebäuden und Reklametafeln, für die Befeuerung von Flugplätzen, in Leuchtbaken usw. Darüber hinaus finden Natriumdampflampen mehr und mehr zur Innenbeleuchtung großer Hallen, von Fabrikräumen, Kesselräumen, chemischen Laboratorien usw. Anwendung.

2. Quecksilberdampflampen



a) Allgemeines

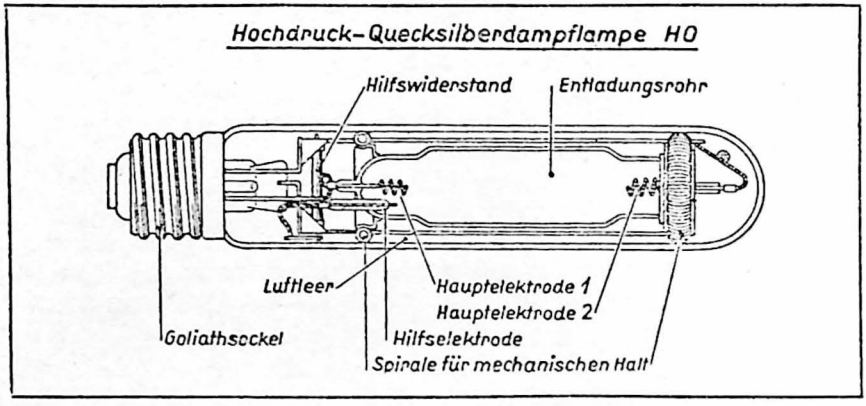
Quecksilberdampflampen, in denen, wie es ihr Name sagt, Quecksilber verdampft und zum Leuchten angeregt wird, arbeiten im Prinzip ähnlich wie Natriumdampflampen, obwohl einige grundlegende Unterschiede zu vermerken sind. Ein Teil ihrer Strahlung liegt jenseits des sichtbaren Spektrums, im Ultravioletten. — Die Quecksilberdampflampen werden in Niederdrucklampen, Hochdruck- (HO- und HP-) und Höchstdruck-Lampen (SP-Lampen) eingeteilt.

b) Hochdrucklampen

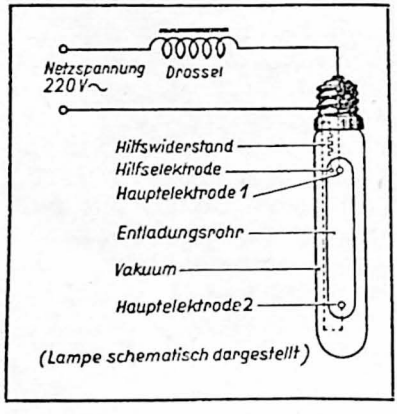
HO-Lampen

Der Betriebsdruck der HO-Lampen liegt bei 1 Atmosphäre. Es ist deshalb etwas übertrieben, sie Hochdruck-Lampen zu nennen; aber die Bezeichnung hat sich seit Anbeginn der Entwicklung eingeführt

und kennzeichnet den Gegensatz zu den noch zu besprechenden Niederdruck-Lampen. Der Aufbau der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen geht aus nachfolgendem Bild hervor. Der Elektrodenabstand ist bei den Quecksilberlampen kleiner als bei den Natriumdampflampen, der Durchmesser des Entladungsrohres größer. Daraus könnte



man folgern, daß die Zündspannung der Quecksilberdampflampen niedriger gehalten werden kann. Das ist aber nicht der Fall. Eine betriebssichere Zündung ist bei einer Netzspannung von rund 220 Volt nicht immer gewährleistet. Die Wahl eines anderen Füllgases, das hier aus Argon besteht, nützt, wie Versuche gezeigt haben, nicht viel.



In die Netzleitung wird eine Drossel geschaltet, durch welche die Zündspannung erhöht und der Betriebsstrom begrenzt wird. — Aber auch die Zündspannungserhöhung durch die Drossel reicht nicht aus. Ein besonderer Kunstgriff schafft günstige Verhältnisse. Man führt eine Hilfselektrode in das Entladungsgefäß ein (siehe Bild). Die Zündelektrode, wie man die Hilfselektrode nennt, ist über einen hohen Widerstand mit einer der Netzzuführungen verbunden. Sie liegt ganz nahe an der Elektrode, die an die andere Netzzuführung angeschlossen ist. Infolgedessen setzt eine Entladung beim Einschalten an dieser Stelle mit Sicherheit ein. Die Hilfsentladung läßt so viele Elektronen und Ionen entstehen, daß die Strecke zwischen den beiden Hauptelektroden leitend wird und die Entladung zwischen diesen vor sich geht.

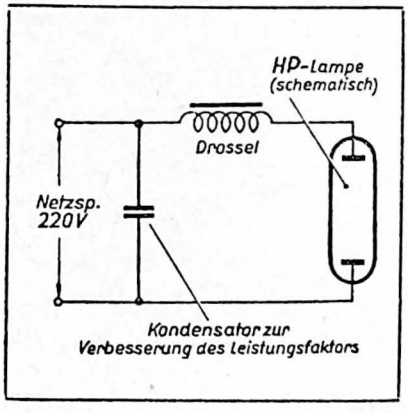
Der mit der Hilfselektrode hintereinandergeschaltete Widerstand hält die Stromstärke klein; bei zu hohen Stromwerten könnte die Lampe zerstört werden. Im Betrieb ist der Ohmwert des Widerstandes vor der Hilfselektrode wesentlich höher als der Widerstandswert zwischen den Hauptelektroden, und der Strom nimmt seinen Weg vorzugsweise über den kleineren Widerstand.

Die Einführung der Hilfselektrode setzt die Zündspannung auf einen Wert unter 180 Volt herab. Die große Sicherheitsspanne von 40 Volt bei der Netzspannung von 220 Volt bietet auch bei Netzunterspannung Gewähr für sichere Zündung.

Im Entladungsrohr befindet sich eine genau abgemessene Menge Quecksilber und — wie gesagt — etwas Argongas, das zur Einleitung des Entladungsvorganges beiträgt. Nach der Zündung steigt die Temperatur im Entladungsrohr an. Sind 350° Celsius erreicht, dann hat sich das vorhandene Quecksilber in Dampf umgewandelt.

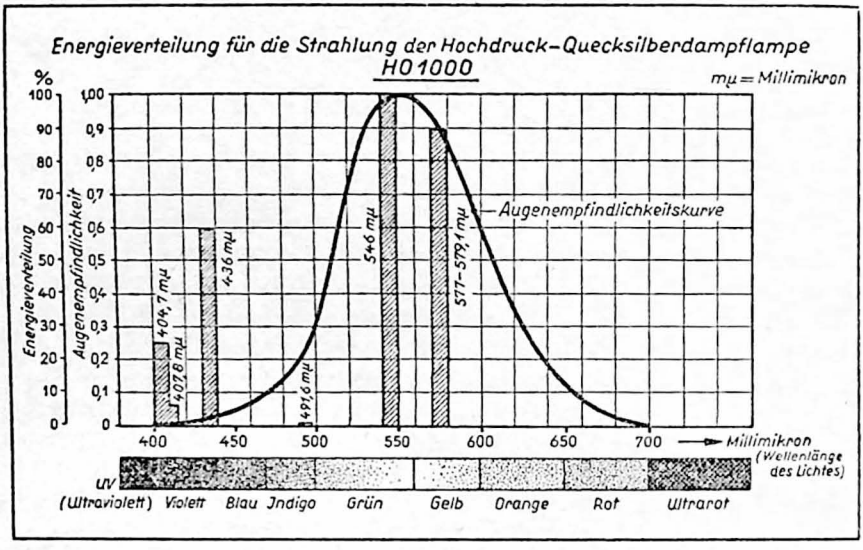
Der Einbau des Entladungsrohres in ein umhüllendes Glasgefäß gestattet die Anbringung eines Schraubsockels (E 40-Goliathsockel). Das äußere Schutzglas sorgt dafür, daß die Lampe selbst nur wenig von der Außentemperatur beeinflußt wird (Luftleere zwischen den Gefäßen). Es ist verständlich, daß für das Glas des Entladungsrohres eine besondere temperaturfeste Qualität gewählt werden muß, ein Glas, dessen Erweichungstemperatur hoch liegt (700° bis 750°). Man nennt entsprechende Glassorten „Hartglas".

Der Außenkolben wird viel weniger heiß als der Innenkolben. Obwohl die äußere Hülle der HO-Lampe aus diesem Grunde nicht aus Hartglas zu bestehen braucht, verwendet man für sie das gleiche Material. Die Lampen sind im Freien und in offenen Leuchten atmosphärischen Einflüssen, Regen und Schnee, ausgesetzt; die Sprenggefahr ist für Hartglas viel geringer.

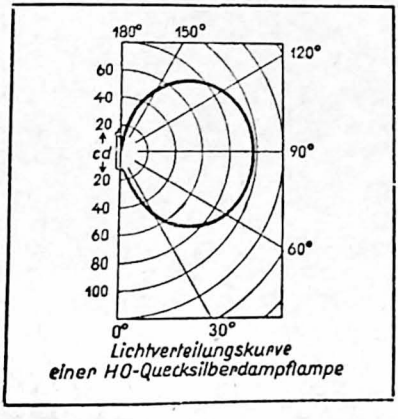


Zur Verbesserung des Leistungsfaktors kann ein Kondensator in angegebener Weise zur Lampe parallel geschaltet werden.

Das Licht der Hochdruck-Quecksilberlampen ist bläulich-grün. Die Zeichnung läßt die Energieverteilung der Ausstrahlung bei den einzelnen Lichtwellenlängen erkennen. Die eingezeichnete Kurve entspricht der Augenempfindlichkeit. Der Anteil an gelbem Licht ist groß, der an grünem (mit noch stark gelblichem Einschlag) am größten.



Gerade auf diese Lichtwellen spricht das Auge am stärksten an. Etwas geringer ist der Anteil des blauen Lichtes, noch geringer der des violetten. Rote Lichtanteile sind nicht vorhanden. Der gelbe und grüne Anteil liefert fast den gesamten Lichtstrom, während das Blau-Violette bei der dort geringeren Augenempfindlichkeit nur wenig zum Lichtstrom beiträgt. Das Licht der HO-Lampen erweckt daher einen bläulich-grünen Eindruck.



Lichtverteilungskurve einer HO-Quecksilberdampflampe

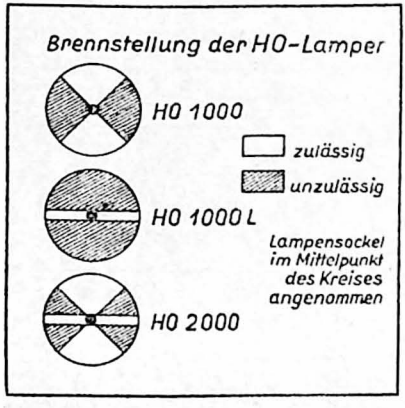
Die Lichtverteilungskurve in der durch die Lampenachse gehenden Ebene ist in nebenstehender Zeichnung wiedergegeben.

Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten Werte für PHILIPS-HO-Lampen (ohne Vorschaltgerät):

		HO 1000	HO 1000 L	HO 2000
Lichttechnische Daten	Lichtstrom	lm 10000	8700	20000
	max. Leuchtdichte	sb 170	150	180
	Lichtausbeute	lm/W 35	31	42
Elektrische Werte	Lampenleistung	W 265	252	450
	Brennspannung	V 120	114	130
	Lampenstrom	A 2,35	2,35	3,7
	Lebensdauer [1]	Std. 3000	3000	3000
	Anlaufzeit	Min. 5	5	4

[1]) Bei Betriebsintervallen von durchschnittlich 5 Stunden.

Wie aus der Tabelle hervorgeht, bedarf es einer gewissen „Anlaufzeit", bis die Lampe normal brennt. Sie leuchtet beim Einschalten nicht gleich hell auf, vielmehr braucht sie bis zur Entwicklung ihrer vollen Leuchtkraft eine gewisse Zeit. — Nach dem Ausschalten kann man sie nicht sofort wieder einschalten, man muß vielmehr warten, bis sie sich genügend abgekühlt hat: das dauert im allgemeinen ebenfalls 5 Minuten. Bei einer heißen Lampe ist nämlich der Dampfdruck zu groß; die Zündspannung liegt dann höher als die Netzspannung.

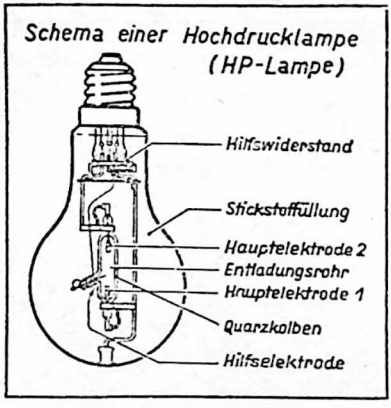


Die Brennlage der HO-Lampen ist ebensowenig beliebig wie die der Natriumdampflampen. Die zulässigen Brennstellungen für die drei Typen der PHILIPS-HO-Lampen sind in der bildlichen Darstellung angegeben.

Das Anwendungsgebiet der HO-Lampen ist infolge ihrer großen Lichtausbeute und ihrer langen Lebensdauer, mithin ihrer Wirtschaftlichkeit, groß. Sie eignet sich besonders im Verkehrswesen (Straßen und Bahnen), für die Ausleuchtung von Industriehallen, für Anstrahlungen und überall dort, wo es auf gute Sehbedingungen ankommt. Das Farbunterscheidungsvermögen ist gut, besonders gut, wenn neben den HO-Lampen normale Glühlampen benutzt werden (Mischlicht).

HP-Lampen

HP-Lampen arbeiten mit höherem Betriebsdruck: bis zu 20 Atmosphären. Der Durchmesser des Entladungsrohres der HP-Lampe ist viel geringer als der bei HO-Lampen. Die HP-Lampen haben eine besonders gute Lichtausbeute.

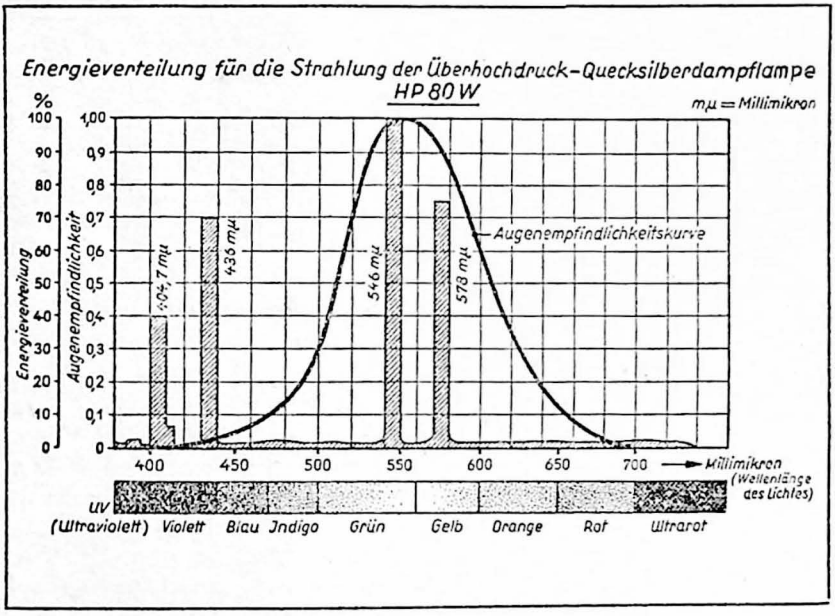


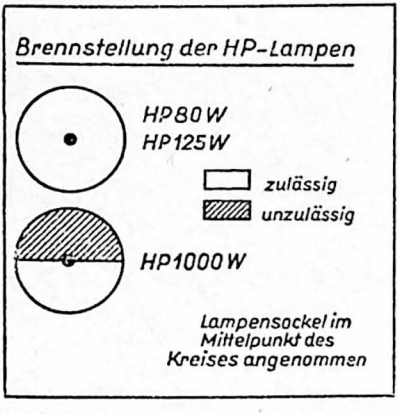
Die Außenkolben der HP-Lampen haben (bis auf eine stärkere Type, die HP 1000 W) normale Glühlampenform. Sie sind innen mattiert. Ihren Aufbau veranschaulicht das Bild. Man sieht, das Entladungsrohr selbst ist sehr klein (25 bzw. 30 mm lang). Die Hilfselektrode ist anders angeordnet als bei den HO-Lampen und wird seitlich eingeführt. — Die Arbeitsweise der HP-Lampen ist dieselbe wie die der HO-Lampen.

Die Verengung der Entladungsröhre ruft eine erhebliche Steigerung der Wandtemperatur hervor, so daß ihr Mantel aus einem besonders hitzebeständigen Material hergestellt werden muß: man nimmt Quarz. Die Hitzeentwicklung ist so groß, daß man das kleine Entladungsrohr kühlen muß. Das geschieht durch Füllung des Außenkolbens mit Stickstoff (Druck etwa $^2/_3$ Atmosphären).

Ein Vorteil des höheren Druckes ist die hohe Leuchtdichte. — Die HP-Lampen liefern ein bläulich-weißes Licht. Der hohe Innendruck verschiebt die Anteile am sichtbaren Spektrum stark, wie die graphische Darstellung mit der hinzugefügten Augenempfindlichkeitskurve erkennen läßt. Daß das Licht der HP-Lampen weißer ist als das der HO-Lampen, ist darauf zurückzuführen, daß fast alle Wellen des

sichtbaren Lichtes an der Strahlung beteiligt sind. Eine starke unsichtbare Strahlung tritt im Ultraviolett-Bereich (bei 360 Millimikron) auf.





Die HP-Lampen werden, wie die HO-Lampen, über eine Drossel an das Netz gelegt. — Die normale Brennlage ist die senkrechte, obwohl die HP-Lampen wegen des kleinen Durchmessers und der geringen Größe ihres Entladungsrohres in jeder Lage montiert werden können. Eine Ausnahme bildet die starke HP 1000, die nur in den Stellungen zwischen Waagerecht und Senkrecht nach unten benutzt werden darf.

Die folgende Tabelle gibt die wichtigsten Daten der HP-Lampen an:

			HP 80	HP 125	HP 1000
Lichttechn. Daten	Lichtstrom	lm	3000	5000	55000
	Leuchtdichte	sb	35 bzw. 530[1])	40 bzw. 640[1])	350[1])
	Lichtausbeute	lm/W	34	36	54
Elektrische Daten	Lampenleistung	W	80	125	1000
	Lampenstrom	A	0,80	1,15	7,4
	Brennspannung	V	115	125	150
	Anlaufzeit	Min.	3,5	1,5	2
	Lebensdauer	Std.	3000	3000	3000

[1]) Bei Klarglaskolben

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ist die Anlaufzeit der HP-Lampen eine kürzere als die der HO-Lampen.

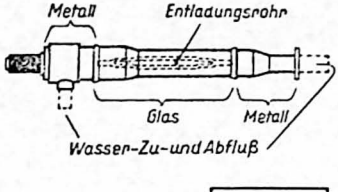
Der Aufbau der HP-Lampen ist so stabil, daß sie gegen Erschütterungen weitgehend unempfindlich sind. Die HP-Lampen sind mindestens so stabil wie stoßfeste Glühlampen. Sie lassen sich in normalen Leuchten verwenden, wenn das erforderliche Vorschaltgerät an anderer Stelle montiert wird. (Die HP 1000 ist mit dem Goliathsockel E 40 versehen.)

HP-Lampen dienen den gleichen Zwecken wie HO-Lampen. Darüber hinaus finden sie für Spezialzwecke Verwendung, bei denen es auf hohe Leuchtdichten (Klarglaskolben) ankommt, wie z. B. bei der Projektion. In anderen Fällen ist die zusätzliche UV-Strahlung von Wert.

In Verbindung mit Glühlampen ergibt sich ein tageslichtähnliches „Mischlicht".

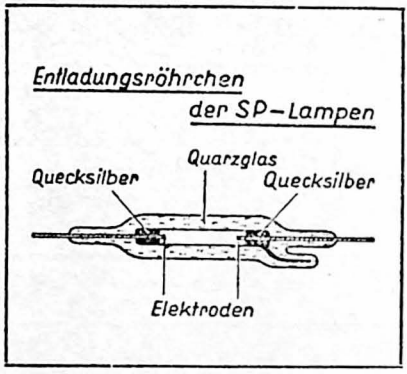
c) Wassergekühlte Höchstdruck-Quecksilberdampflampen (SP-Lampen)

Wassergekühlte Höchstdruck-Quecksilberdampf-Lampe (SP-Lampe)



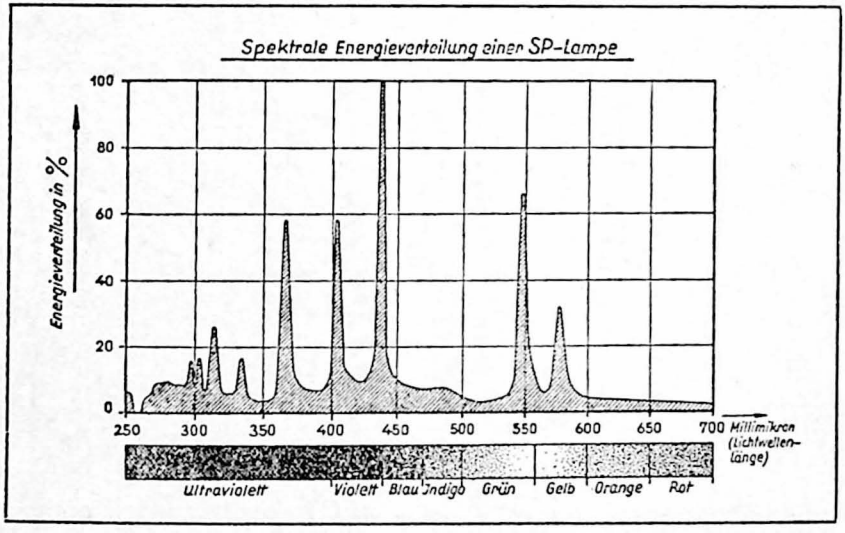
Schema der SP 2000

Die Außenkolben der HP-Lampen werden zur Kühlung mit Gas gefüllt. Die SP-Lampen haben eine Wasserkühlung. Daher weicht ihre Form von der der bisher erwähnten Lampen ab. Rohrstutzen an beiden Enden dienen der Wasserzuführung bzw. der Wasserableitung.



Im Inneren der Mantelkonstruktion befindet sich das kleine Entladungsrohr, dessen Elektroden bis auf ein kurzes vorstehendes Stück mit Quecksilber umgeben sind.

Die Brennspannungen dieser Lampenart, die ohne Hilfselektrode zündet, liegen sehr hoch (bei einer Type bei 1800 Volt), keine Frage, daß die Zündspannung noch höher sein muß (im angeführten Fall: 2200 Volt). Es bedarf mithin der Vorschaltung eines Transformators, wobei gesagt sei, daß ein Spartransformator nicht benutzt werden kann: Primär- und Sekundärwicklung müssen voneinander getrennt sein.



Das Spektrum dieser Lampe reicht weit über das sichtbare Gebiet hinaus und in die Bereiche der unsichtbaren ultravioletten und infraroten Strahlung hinein. Das Licht der SP-Lampen ist viel weißer als das der anderen Quecksilberdampflampen, was darauf zurückzuführen ist, daß Lichtwellen des ganzen sichtbaren Spektrums stärker an der Strahlung beteiligt sind. — Die infrarote Wärmestrahlung wirkt sich praktisch nicht aus, da sie vom Kühlwasser fast völlig absorbiert wird.

Die Leuchtdichten der SP-Lampen sind außerordentlich hoch, deshalb eignen sie sich als Lichtquellen (unter anderem) besonders für die Kinoprojektion in großen Vorführräumen.

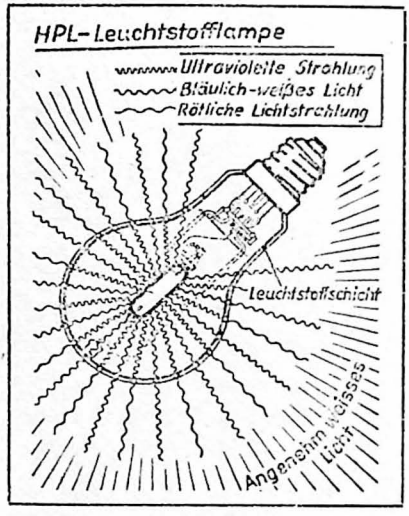
Mit einer Versuchslampe des genannten Typs wurde 1936 die enorme Leuchtdichte von 180 000 Stilb erreicht. Wem das nicht viel sagt, der vergleiche diesen Wert mit den Angaben in der folgenden Tabelle:

Art der Lichtquelle	Leuchtdichte (Stilb)
SP-Lampe, Versuchsausführung	180 000
Sonne (durch atmosphärische Absorption geschwächt)	150 000
Beck-Bogenlampe	50 000—110 000
SP 1000 W 80/2	45 000
Hochintensitäts-Bogenlampe	40 000— 60 000
SP 500 W, 1000 W, 2000 W	30 000
Effektkohlenbogen	17 000
Gewöhnlicher Kohlenbogen (Krater)	9 000
Kinoprojektionslampe (Glühlampe 15 V, 50 A)	3 000
Wolframbogenlampe	2 000
Glühlampe 220 V, 2000 W	1 000
HP 125 W (Entladungsrohr)	640
Sonne am Horizont	600
HP 80 (Entladungsrohr)	530
Glühlampe 220 V, 60 W, gasgefüllt	470
Glühlampe 220 V, 40 W, Vakuumwendel	300
HO 1000	170
Kohlenfadenlampe, 220 V, 16 cd	60
HP 125 (innenmattiert)	40
ML 125 (innenmattiert)	25
Leuchtstofflampen (TL)	0,4

Die Lebensdauer der SP-Lampen, die im Gegensatz zu den anderen Typen auch für Gleichstrombetrieb hergestellt werden, ist nicht sehr hoch, sie beträgt — unter Beachtung gewisser Vorbedingungen — etwa 100 Stunden.

SP-Lampen finden vor allem, wie schon gesagt, in der Kinoprojektion Verwendung. Daneben sind sie im Filmaufnahme-Atelier und bei Fernsehaufnahmen von nicht zu unterschätzender Bedeutung (Gleichstromtyp). Auch im Scheinwerfer und für die Flugplatzbeleuchtung eignen sie sich vorzüglich. — Schließlich wird die UV-Strahlung (Ultraviolett-Strahlung) der Lampe für medizinische Zwecke genutzt.

d) Quecksilberdampflampen mit Leuchtstoff — HPL-Lampen



HPL-Lampen sind normale Hochdrucklampen, nur daß ihr Außenkolben innen mit einer Leuchtstoffschicht bedeckt ist. Die unsichtbare UV-Strahlung regt bestimmte Leuchtstoffe zur Abgabe von sichtbarem Licht an. Es ergibt sich ein angenehmer Gesamtlichteindruck.

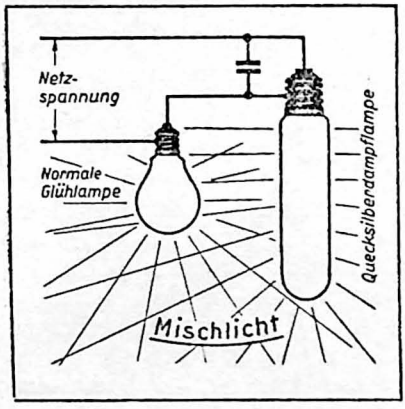
Die HPL-Lampen können in jeder Brennstellung verwendet werden. Ihre wichtigsten Daten sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

			HPL 80 W	HPL 125 W
Lichttechnische Daten	Lichtstrom	lm	3000	5000
	Leuchtdichte	sb	20	25
	Lichtausbeute	lm/W	34	36
Elektrische Daten	Lampenleistg.	W	80	125
	Lampenstrom	A	0,80	1,15
	Brennspann.	V	115	125
	Lebensdauer	Std.	3000	3000
	Anlaufzeit	Min.	3,5	1,5

3. Mischlichtlampen (ML-Lampen)

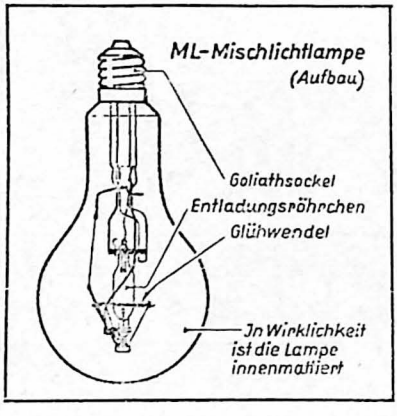
Die günstige Verbindung von Quecksilberdampflampe und Glühlampe wurde bereits erwähnt. Sie ruft eine Verbesserung der Lichtfarbe hervor. Aber nicht nur das: wie alle Gasentladungslampen erlöschen auch die HO- und HP-Lampen in jeder Wechselstrom-Periode zweimal: zwar tritt keine Dunkelpause ein, doch starke Intensitätsschwankungen geben einen nicht immer angenehmen Lichteindruck. Läßt

man jedoch eine Glühlampe, deren Licht infolge der großen Wärmekapazität ihres Glühfadens viel geringeren Schwankungen unterworfen ist, mit einer Quecksilberdampflampe nebeneinander leuchten, so ist der Gesamteindruck gleichmäßiger, das Licht ist weniger „wellig".



Benutzt man eine Glühbirne als Vorschaltwiderstand, so kann man auf die Zuschaltung einer Drossel verzichten.

Das Verfahren der Lichtmischung und der damit erzielten Farbkorrektion ist sehr schmiegsam, man hat es ganz in der Hand, ein den Wünschen entsprechendes Licht hervorzurufen! Haben beide Lampen Lichtstromwerte, die zueinander im Verhältnis 1:1 stehen, so ergibt sich eine tageslichtähnliche Strahlung, die — nebenbei gesagt — in der Dämmerung oder in einem nicht sehr hell durch Tageslicht beleuchteten Raum, nicht den Eindruck des „Zwielichtes" hervorruft (wie das bei Beleuchtung mit Glühlampen allein der Fall ist).



Die äußerliche Verbindung von Glühlampe und Quecksilberdampflampe führte zu dem naheliegenden Gedanken, beide Systeme in einem Kolben miteinander zu verbinden. Man legte den Glühdraht innerhalb des Glaskolbens einfach um das Hochdruckquecksilberdampfröhrchen. Auf diese Weise entstanden die Mischlichtlampen (MP-Lampen).

Die PHILIPS-Mischlampen sind auf dem Lichtstrom-Mischverhältnis 1:1 aufgebaut.

Ihre Vorteile sind: kein Vorschaltgerät, angenehme weiße Lichtfarbe, beliebige Brennlage, zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten.

Die wichtigsten Daten der PHILIPS-ML-Lampen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

			ML 160 W	ML 250 W
Licht-technische Daten	Lichtstrom	lm	3000	5000
	Leuchtdichte	sb	25	30
	Lichtausbeute	lm/W	19	20
Elektrische Daten	Lampenleistg.	W	160	250
	Lampenstrom	A	0,74	1,15
	Brennspann.	V	220	220
	Lebensdauer	Std.	2000	2000

4. Eine vergleichende Übersicht

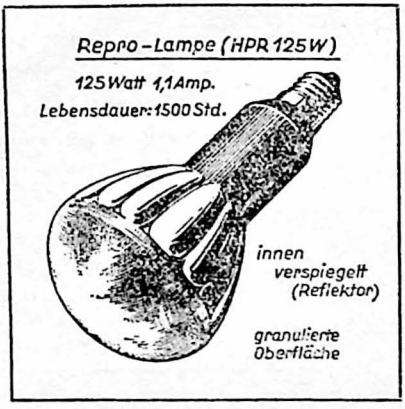
In der folgenden Tabelle sind die einzelnen prozentualen Lichtstromwerte (für verschiedene Lichtwellenlängen) der vorher besprochenen Lampengattungen zusammengestellt.

Wellenlänge in Millimikron	400-420	440	470	500	560	600	650-720	
HO-Lampen	0,01	0,56	0,05	0 72	53,30	44,60	0,71	0,05
HP-Lampen	0,02	0,69	0,09	1,03	57,00	39,90	1,17	0,10
HPL-Lampen	0,01	0,46	0,09	1,63	56,00	39,60	2,15	0,17
ML-Lampen	0,015	0,37	0,16	3,16	44,85	41,05	9,44	0,95
Farbe	Violett		Blau	Indigo	Grün	Gelb	Oran-ge	Rot

5. Sonderlampen

a) Die Repro-Lampe (HPR-Lampe)

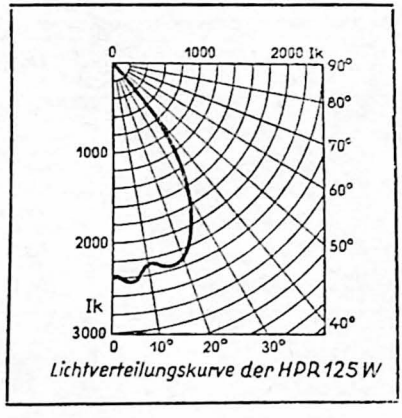
Die Reprolampen sind phototechnische Lichtquellen, die sich besonders für Reproduktionszwecke, für Photolitographie, für Pauszwecke und ähnliche Aufgaben eignen.



Es sind Hochdruck-Quecksilberdampflampen mit einer Leistungsaufnahme von 125 Watt, deren Kolben in besonders zweckentsprechender Form ausgebildet ist. Er ist innen teilverspiegelt (Reflektor), seine vordere Wölbung ist granuliert, damit ein gleichmäßig gestreutes Licht abgestrahlt wird.

Die Lampen werden entweder über eine Drosselspule oder über einen Transformator angeschlossen (normaler Glühlampensockel).

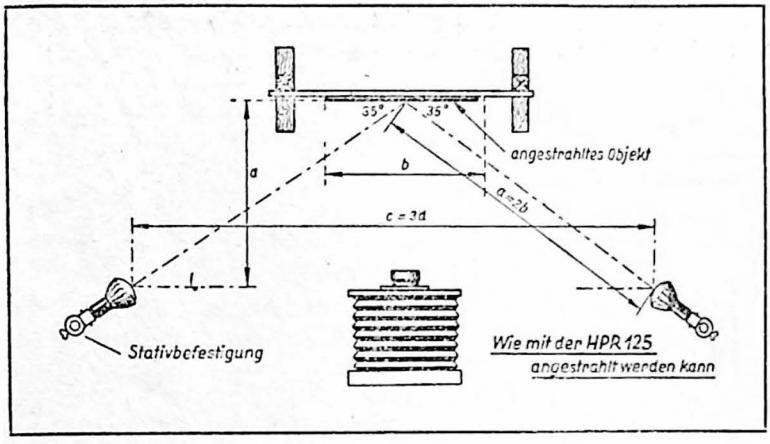
Lichttechnisch wichtig ist, daß die HPR-Lampen Strahlen einer Wellenlänge aussenden, für die das verwendete Photomaterial besonders empfindlich ist. Die für das Auge schädliche kurzwellige Strahlung wird vom Glaskolben verschluckt.



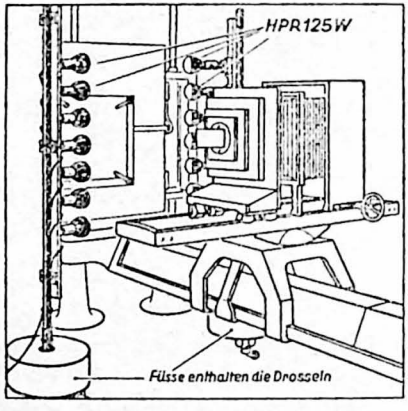
Lichtverteilungskurve der HPR 125 W

Die Lichtverteilungskurve ist nebenstehend wiedergegeben. Sie läßt die durch den inneren Reflektor hervorgerufene einseitige Strahlrichtung erkennen.

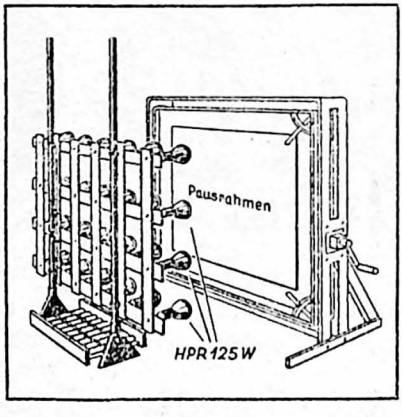
Die Brennlage der HPR-Lampen ist beliebig. Ihre Anlaufzeit bis zum vollen Lichtstrom beträgt 3,5 Minuten, die Lebensdauer 1500 Stunden; sie ist von der Schalthäufigkeit abhängig (weniger Schaltungen verlängern die Lebensdauer).



Der Abstand der Lampen vom Reproduktionsbrett ist mit doppelter Objektbreite richtig gewählt.

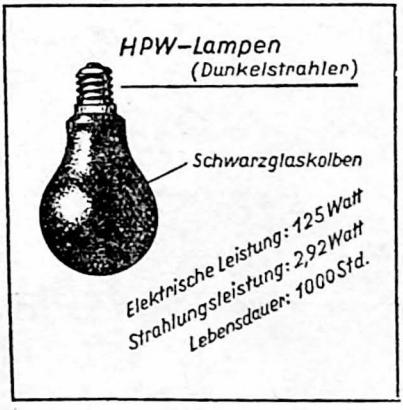


Die Zahl der erforderlichen Lampen richtet sich nach der Größe der zu reproduzierenden Fläche. Man kann sie übereinander an Stativen anordnen . . . .



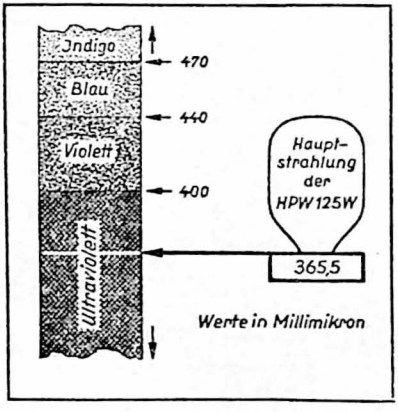
. . . oder für Pauszwecke auf einer Art Rost, wie es das Bild zeigt (10 bis 12 Lampen je m²).

Besondere Vorzüge der Repro-Lampen sind neben ihren lichttechnisch so günstigen Eigenschaften die Sauberkeit und Einfachheit des Betriebes, z. B. gegenüber den bislang vielfach benutzten Kohlebogenlampen. — Normale Glühlampen eignen sich für die angeführten Zwecke nur für ortho- und panchromatisches Photomaterial.

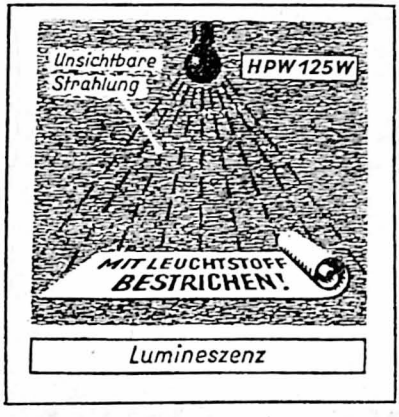


b) Ultraviolett-Strahler (HPW-Lampen)

Die HPW-Lampen unterscheiden sich im Aufbau von den vorher behandelten HP-Hochdruck-Quecksilberlampen überhaupt nicht. Lediglich ihr äußerer Kolben ist anders: er besteht aus „schwarzem" Glas, das die unsichtbare ultraviolette Strahlung durchläßt, die sichtbaren Lichtstrahlen jedoch zurückhält.



Der Hauptteil der Strahlung besteht aus ultravioletten Lichtwellen der Größenordnung 365,5 Millimikron.



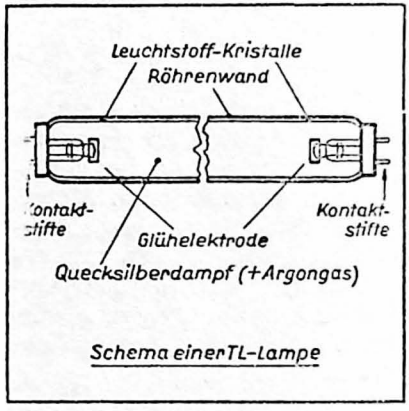
Es gibt eine ganze Reihe von Stoffen, welche die Eigenschaft haben, einen Teil des aufgestrahlten Lichtes mit anderer, größerer Wellenlänge zurückzustrahlen. Werden sie z. B. von unsichtbaren ultravioletten Strahlen getroffen, so geben sie sichtbares Licht ab. Man nennt diesen Vorgang „Lumineszenz". Besonders stark tritt dieser Effekt bei den „Leuchtstoffen" auf.

Ein interessantes Anwendungsgebiet für Dunkelstrahler (HPW-Lampen) in Verbindung mit Leuchtstoffen ist z. B. folgendes: in den Steuerkabinen von Schiffen muß in der Nacht die Sicht ins Dunkel erhalten bleiben. Man kann daher den Raum nicht beleuchten; andererseits müssen die Instrumente und Meßeinrichtungen kontrolliert werden können. Ihre Skalen werden deshalb mit Leuchtstoffen bestrichen, die im „Licht" der Dunkelstrahler aufleuchten.

Die Lumineszenz vieler Stoffe gestattet Analysen oder Kontrollen verschiedenster Materialien auf einfachste Weise durch die Anstrahlung mit einer HPW-Lampe: in der Kriminalistik zum Erkennen von Fälschungen (Banknoten, Unterschriften, Flecke usw.), ferner bei Lebensmitteluntersuchungen (Untersuchung auf Zusätze) usw. — Zur Erzielung besonderer Wirkungen im Theater auf der Bühne angewandt, lassen sich mit Dunkelstrahlern unter Verwendung verschiedenfarbiger Leuchtstoffe eigenartige Farbwirkungen erzielen, die ganz anderer Art sind als die mit normalem Licht hervorgerufenen. Auf ähnliche Weise im unbeleuchteten Schaufenster angewandt, wird eine anziehende Werbewirkung ausgeübt.

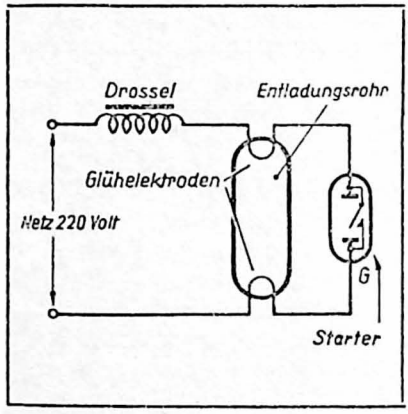
PHILIPS

G) LEUCHTSTOFFLAMPEN (TL-LAMPEN)

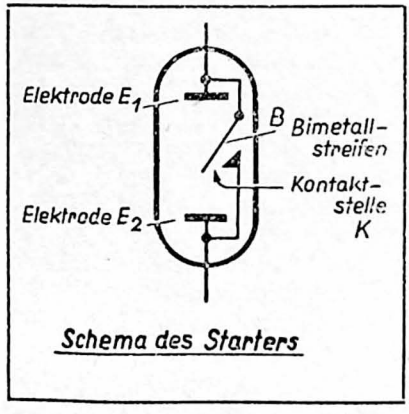


Schema einer TL-Lampe

Der Aufbau dieser modernen Lampenart ist einfach. Ein langgestrecktes Glasrohr ist an den Enden mit Sockeln versehen, aus denen je zwei Kontaktstifte herausragen, die paarweise mit den beiden Glühelektroden im Rohr verbunden sind. Die Glaswandungen der Röhre sind innen mit Kristallen eines bestimmten Leuchtstoffes bedeckt. Die TL-Lampen enthalten einige Milligramm Quecksilber und etwas Edelgas (Argon) zur Erleichterung der Zündung.

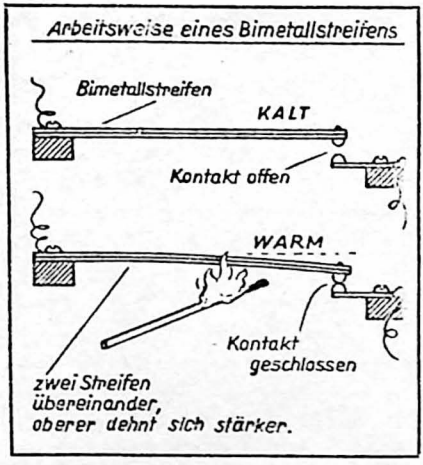


Eine Drossel in der Netzzuleitung erhöht die Zündspannung und begrenzt im Betrieb den Strom, der ohne Drossel gefährlich hohe Werte annehmen würde. Die Drossel allein reicht aber nicht aus, um den erforderlichen Zündspannungswert zu liefern. Die Lampenfachleute haben einen besonders interessanten Weg beschritten, um zum Ziel zu kommen. Sie haben ein besonderes Glimmlämpchen, so wie es das Bild angibt, zugeschaltet.

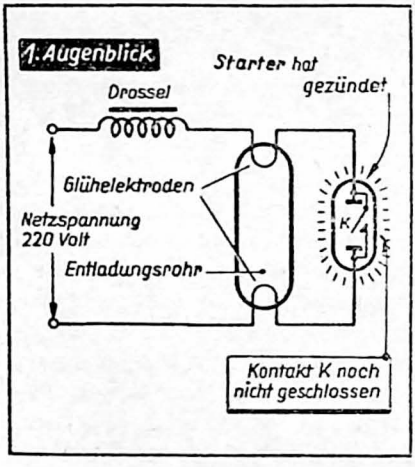


Schema des Starters

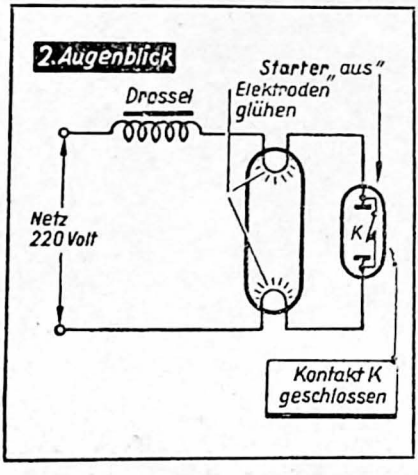
Das Glimmlämpchen enthält im Prinzip zwei Elektroden (E_1 und E_2) und einen Bimetallstreifen (B). Es wird wegen seiner Wirkung als „Glimmzünder" oder „Starter" bezeichnet.



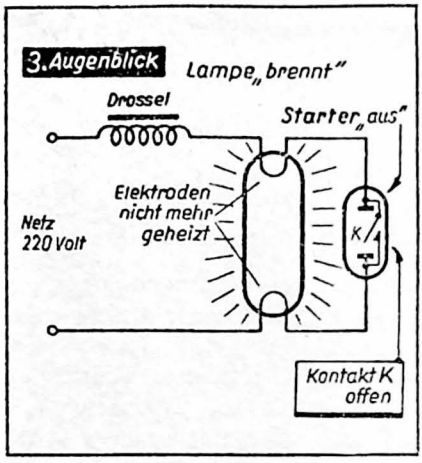
Der kleine Bimetallstreifen besteht aus zwei aufeinandergepreßten fest miteinander verbundenen Metallplättchen verschiedenen Materials. Das eine dehnt sich bei Erwärmung stärker aus als das andere. Dadurch kommt eine Verbiegung zustande, die man zum Schließen oder Öffnen eines Kontaktes ausnutzen kann.



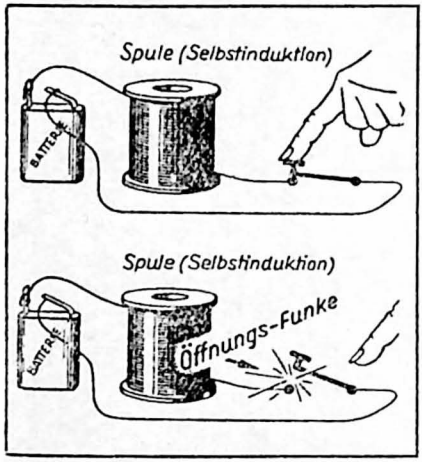
Wird die Netzspannung über die Drossel an die Lampe gelegt, so leuchtet diese auf Grund ihrer hohen Zündspannung nicht auf. Die Netzspannung gelangt gleichzeitig an die Elektroden des Glimmröhrchens (Stromzuführung über die beiden Glühelektroden der Leuchtstofflampe, deren Widerstand nur gering ist). Da der Elektrodenabstand im Glimmzünder klein ist, findet eine Gasentladung statt; das gasgefüllte Röhrchen leuchtet auf, und Strom fließt von der einen Elektrode zur anderen.



Die bei der Glimmentladung im Hilfsröhrchen auftretende Wärme krümmt den Bimetallstreifen, der den Kontakt K schließt. Die Folge davon ist, daß der vorher nur schwache Netzstrom jetzt in ausreichender Stärke durch die Glühelektroden der Leuchtstofflampe fließt und diese dadurch erhitzt. Die Glimmentladung im Hilfsröhrchen erlischt im gleichen Augenblick, in dem die beiden Elektroden durch das Schließen des Kontaktes überbrückt werden.



Mit geringer werdender Wärme im Inneren des Glimmzünders kühlt sich der Bimetallstreifen ab. Er nimmt seine ursprüngliche Form wieder an und unterbricht damit den Kontakt K. Die Stromunterbrechung ruft eine kurzdauernde Spannungserhöhung an den Hauptelektroden hervor. Sie reicht zur Zündung der Lampe aus.

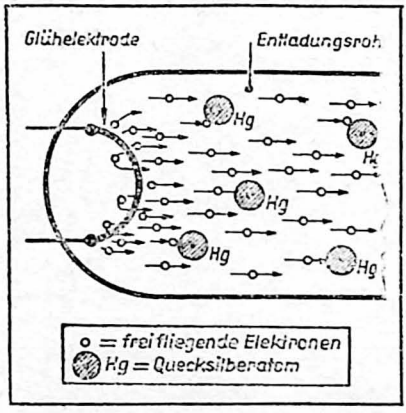


Erläuternd sei hinzugefügt, daß die hohe „Öffnungsspannung" durch die Selbstinduktion der Drosselspule bedingt ist. Ein einfaches Experiment läßt ohne Zuhilfenahme eines Meßinstrumentes erkennen, daß das Öffnen eines Kontaktes in einem Stromkreis mit einer „Selbstinduktion" eine wesentliche Spannungserhöhung hervorruft.

Über einen Druckkontakt legt man eine Spannung, die noch nicht einmal hoch zu sein braucht, an eine Spule mit nicht zu geringer Windungszahl. Beim Öffnen des Schalters springt zwischen den beiden Kontakten ein starker Funke (Öffnungsfunke) über, der nur durch eine erhöhte Spannung hervorgerufen sein kann.

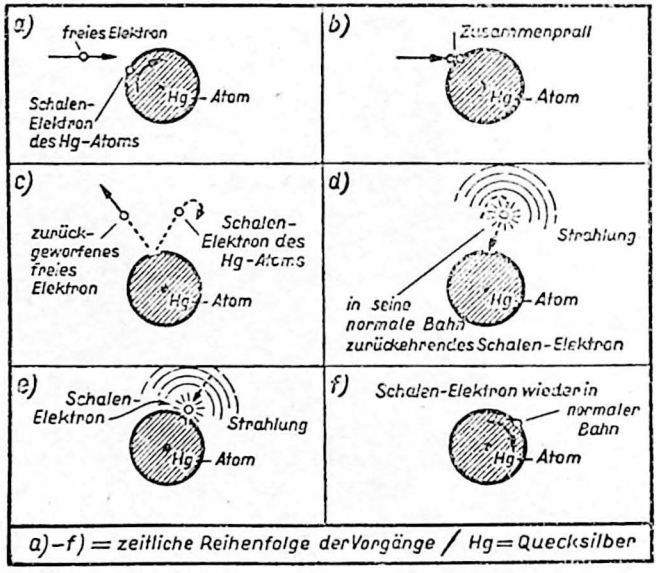
Nach erfolgter Zündung liegt die Betriebsspannung (Brennspannung) an den Klemmen der Lampe, die niedriger ist als die Zündspannung des Starters, der damit außer Betrieb gesetzt ist.

In der Leuchtstofflampe selbst spielen sich folgende Vorgänge ab:



Die von den Elektroden wechselweise ausgehenden freien Elektronen stoßen auf ihrem Weg durch das Rohr mit Wucht auf Quecksilberatome (wenn wir die einleitende Argonzündung übergehen wollen).

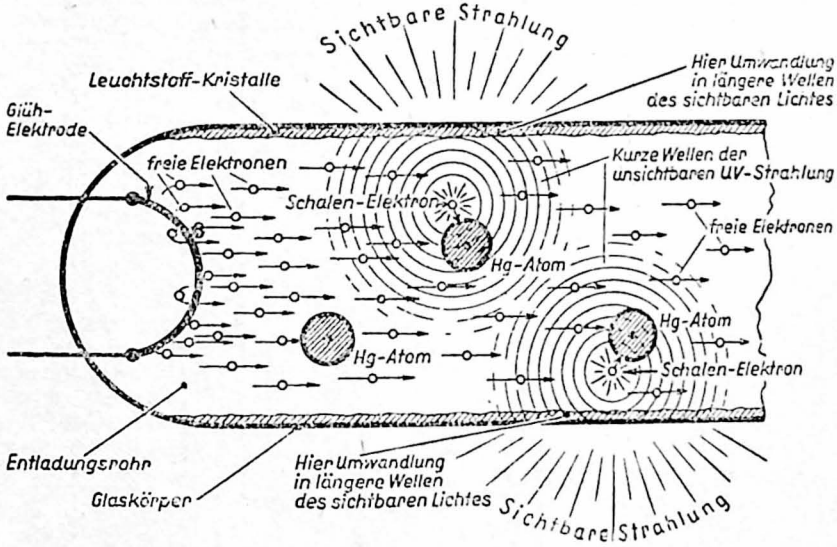
Die Quecksilberatome bestehen aus einem Kern und mehreren durch rasend schnell kreisende Elektronen gebildete Schalen. (Der Einfachheit halber wurde in der Zeichnung nur die äußerste der 6 Schalen des Quecksilberatoms und nur 1 Elektron der im ganzen am Atomaufbau beteiligten 80 Elektronen angedeutet.) Beim Zusammenprall eines freifliegenden Elektrons mit einem Elektron der äußeren Schale,



wird dieses vorübergehend aus seiner Bahn geschleudert. Aber wie an einem Gummifaden geknüpft, der sich beim Abflug des Elektrons spannte, kehrt das fortgeschleuderte Elektron in seine normale Bahn zurück. Die Energie, die zum Herausschleudern des Elektrons aus

seiner eigentlichen Bahn aufgewendet wurde, kann nicht verlorengehen, wie nie und nirgends Energie verlorengeht. Sie teilt sich dem getroffenen Elektron mit, das sie bei seiner Rückkehr in die Schalenbahn als dann überschüssig in Form von Lichtstrahlung wieder abgibt. Sobald das zum Quecksilberatom gehörende Elektron wie zuvor in seiner alten Bahn kreist, sind die Energieverhältnisse ausgeglichen, die Strahlung hört auf. Gleichzeitig und immer wieder neu werden Millionen andere gebundene Elektronen von freien Elektronen, die ständig nachdringen — besser „nachschießen" — getroffen, so daß dauernd die Strahlung innerhalb des ganzen Rohres auftritt. Die Strahlung gehört zu 60 Prozent dem unsichtbaren Ultraviolett-Bereich an; nur 2% sind sichtbares Licht; der Rest ist Wärmestrahlung.

Der geringe Anteil an sichtbarem Licht ist praktisch bedeutungslos. Da jedoch die Innenwandung des Lampenrohres mit Leuchtstoffkristallen bedeckt ist, die hell aufleuchten, sobald sie von ultravioletten Strahlen getroffen werden, strahlt das Rohr in seiner ganzen Länge Licht ab.



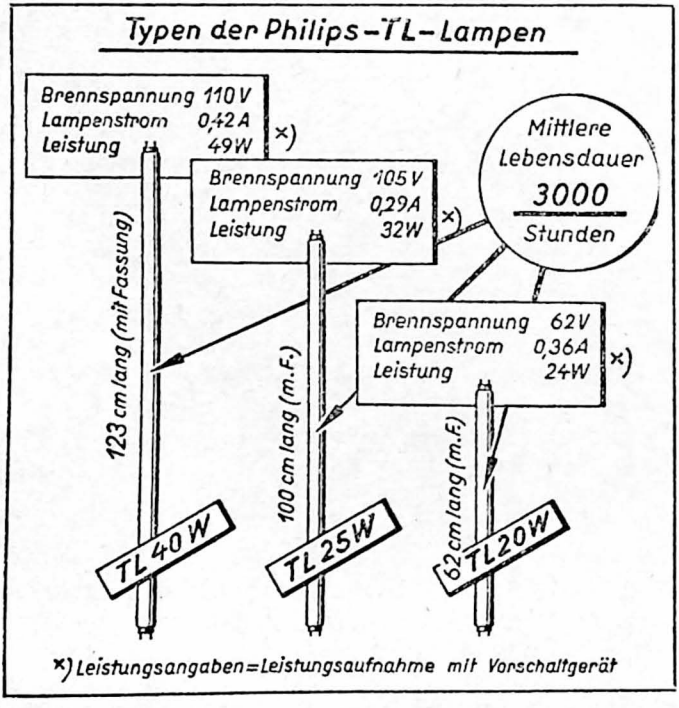
Wie in einem vorigen Kapitel bereits erwähnt, wird die kurzwellige UV-Strahlung durch die Leuchtstoffe in langwelligere sichtbare Strahlung umgewandelt. Die UV-Strahlung der TL-Lampe besteht hauptsächlich aus Wellen der Größe 254 Millimikron.

Je nach der Zusammensetzung der Leuchtstoffe werden durch die UV-Bestrahlung verschiedene „Lichtfarben" hervorgerufen. Praktisch stellt man Lampen mit den Lichtfarben „Tageslicht", „Weiß" und „Warmton" her. Die Strahlung der Lampen mit der Farbe „Tageslicht" setzt sich spektral ähnlich zusammen, wie die von zerstreutem natürlichem Tageslicht. Daraus ergibt sich die Verwendung für Zwecke, bei denen natürliches Licht ergänzt oder ersetzt werden soll. Farben behalten in dieser Beleuchtung ihre natürlichen Werte.

Da der Farbton „Weiß" neutral ist, verträgt er sich sowohl mit dem natürlichen Tageslicht wie mit Glühlampenlicht, ohne daß Zwielichterscheinungen auftreten. Daher ist „Weiß" die am häufigsten angewandte Lichtfarbe. Sie eignet sich besonders für Arbeits- und Verkaufsräume, für Büros und Schulen.

„Warmton", eine Lichtfarbe mit einem höheren Gelbanteil, ist dort zu empfehlen, wo die Beleuchtung wesentlich dazu beitragen soll, das Gefühl der Behaglichkeit zu vermitteln. Die Lichtfarbe ist daher sowohl für das Heim, als auch für festliche Räume geeignet, um so mehr, als eine Verbindung mit Glühlampenlicht durchaus möglich ist.

Die „Weiß-de-luxe"-Lampe läßt eine besonders günstige Wiedergabe aller Körperfarben, also der beleuchteten Gegenstände, erzielen. Überall dort, wo man mit den Standartlampen wegen der zu starken Betonung der blauen und grünen Farben nicht auskommt (Cafés, Restaurants, Lebensmittel- und Ledergeschäfte), ist die „Weiß-de-luxe"-Lampe angebracht.
Die Farbverbesserung der „Weiß-de-luxe"-Lampe gegenüber der normalen Weiß-Lampe beruht in der vergrößerten rotumformenden Komponente des Leuchtstoffes. Dies hat allerdings ein Absinken des Lichtstromes um etwa 14% gegenüber der normalen TL-Lampe „Weiß" zur Folge.



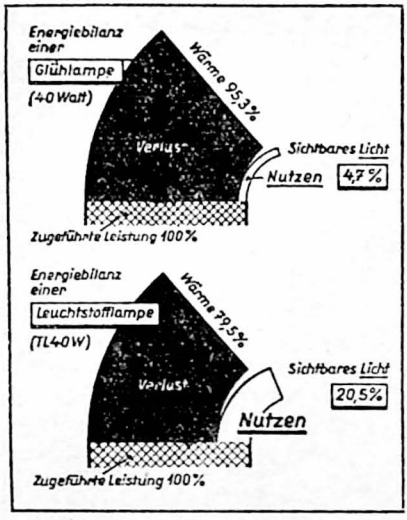
Die elektrischen Daten der PHILIPS-TL-Lampen sind im nebenstehenden Bild zusammengestellt. (Die „Brennspannung" ist nicht mit der Netzspannung, für die die Lampen bestimmt sind, zu verwechseln. Die Differenz zwischen beiden nimmt das Vorschaltgerät auf.)

Die lichttechnischen Daten gehen aus folgender Tabelle hervor:

	TL 40 W	TL 25 W	TL 20 W
Lichtstrom (nach 100 Brennstunden) — in Lumen			
Tageslicht	1900	1150	750
Weiß	2100	1200	850
Warmton	2300	1300	950
Weiß-de-luxe	1800	1100	730
Lichtausbeute (nach 100 Brennstunden) — in Lumen je Watt			
Tageslicht	39	36	32
Weiß	43	38	36
Warmton	47	41	40
Weiß-de-luxe	37	34	31
Leuchtdichte (nach 100 Brennstunden) bei allen Farbtönen — in Stilb	0,4—0,45	0,3	0,35—0,4
Farbtemperatur in Kelvingraden			
Tageslicht	6500	6500	6500
Weiß	4000	4000	4000
Warmton	2900	2900	2900
Weiß-de-luxe	4000	4000	4000

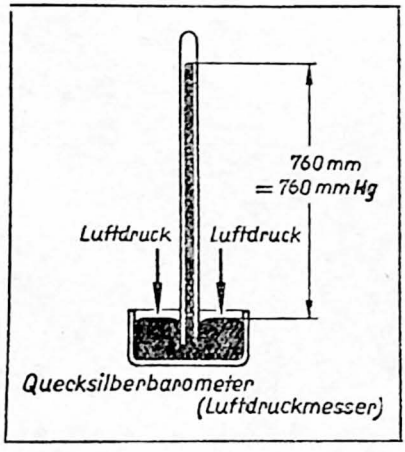
Die geringe Leuchtdichte der TL-Lampen ist die Ursache für ihre weitgehende Blendungsfreiheit. Da die Leuchtdichte bei allen drei Typen fast die gleiche ist, können sie gemeinsam in einer Beleuchtungsanlage verwendet werden. Auf gleiche Leuchtdichten kommt es an, wenn ein einheitlicher Lichteindruck von allen Lampen im Raum ausgehen soll. Eine grellstrahlende Leuchtröhre neben einer, die sanftes Licht aussendet, erweckt den Eindruck einer technischen Unzulänglichkeit.

Die Lichtausbeute der TL-Leuchtstofflampen ist selbst unter Berücksichtigung der Verluste im Vorschaltgerät drei- bis viermal so groß wie die von Glühlampen gleicher Leistung.



In diesem Zusammenhang ist es interessant, die Energiebilanz einer Glühlampe mit der einer Leuchtstofflampe zu vergleichen. Man ersieht aus den beiden Darstellungen, daß der „Profit" an Licht bei einer Leuchtstofflampe mit 20,5% der zugeführten Leistung wesentlich größer ist als bei der Glühlampe, bei der 95,3% der aufgebrachten Leistung als Wärme verlorengehen.

In den TL-Leuchtstofflampen tritt im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Metalldampflampen ein niedriger Druck auf. Das im Betrieb verdampfte Quecksilber steht unter einem Druck von rund 0,1 mm Hg (Hg ist das chemische Zeichen für Quecksilber). Mit d i e s e m Hg ist nicht das Quecksilber in der Leuchtstofflampe gemeint, sondern das in einem Quecksilberbarometer enthaltene.

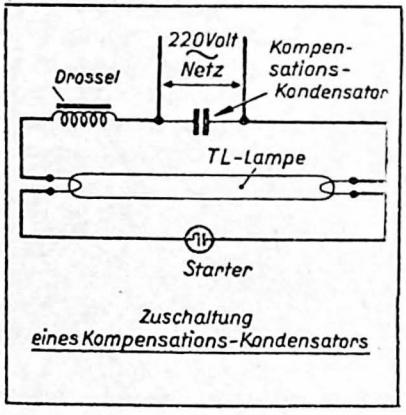


Dieses besteht aus einem oben verschlossenen etwa 90 cm langen mit Quecksilber gefüllten Glasrohr, dessen unteres offenes Ende in einem Gefäß mit Quecksilber steht. Die umgebende Luft übt einen Druck auf das Quecksilber aus, der so groß ist, daß er einer Säule von 760 mm Hg (bei normalem Luftdruck in bestimmter Höhe) die Waage hält. Bei geringerem Luftdruck sinkt die Quecksilbersäule im Rohr. Nach diesen Ausführungen wird die Bezeichnung „Niederdrucklampe" verständlich; beträgt der Druck doch nur 0,01 mm Hg.

Der an und für sich geringe Betriebsdruck sinkt weiter mit der Temperatur ab. Damit ist eine Verminderung der abgestrahlten Lichtmenge verbunden. Für besondere Zwecke wurde deshalb eine Tieftemperaturlampe entwickelt, die u. a. für die Beleuchtung von Gefrierhäusern Verwendung findet.

Die Drossel des Vorschaltgerätes hat ihre Nachteile. Ihre Selbstinduktion (jede Spule hat einen bestimmten Selbstinduktionswert) verschlechtert den Leistungsfaktor. Die Vorschaltdrossel setzt ihn von dem idealen Wert 1 auf 0,5 herab. Der Leser weiß, daß sich die Leistung in Gleichstromkreisen aus dem Produkt „Strom mal Spannung" (Ampere mal Volt) errechnet. In Wechselstromkreisen gilt diese einfache Beziehung nicht. Hier müssen die beiden miteinander multiplizierten leistungsbestimmenden Größen, Strom und Spannung, mit einer dritten multipliziert werden, nämlich mit dem „Leistungsfaktor". In Anlagen mit Drosseln oder überhaupt mit Spulen (wie z. B. bei im Stromkreis liegenden Motoren oder Transformatoren) ist der Leistungsfaktor stets kleiner als 1. Damit wird der Leistungswert (Strom mal Spannung mal Leistungsfaktor) kleiner. Der Leistungsfaktor wird um so kleiner, je größer die Selbstinduktionswerte im Stromkreis sind. Nur in Wechselstromkreisen, in denen keine Selbstinduktionen vorhanden sind, ist der Leistungsfaktor gleich 1, so daß man wie bei Gleichstromkreisen rechnen kann.

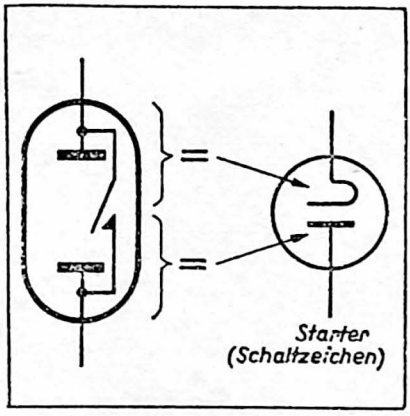
Die Verschlechterung des Leistungsfaktors durch eine TL-Anlage mit „induktivem" Vorschaltgerät (Drossel = Selbstinduktion) hat zur Folge, daß in den Leitungen ein Stromanteil fließt, den man Blindstrom nennt. Dieser Blindstrom wird von normalen Zählern nicht registriert, muß aber vom Elektrizitätswerk mitgeliefert werden. So ist es verständlich, daß die Werke gelegentlich in solchen Fällen als Gegenmaßnahme einen Strompreiszuschlag oder einen Grundpreiszuschlag verlangen.



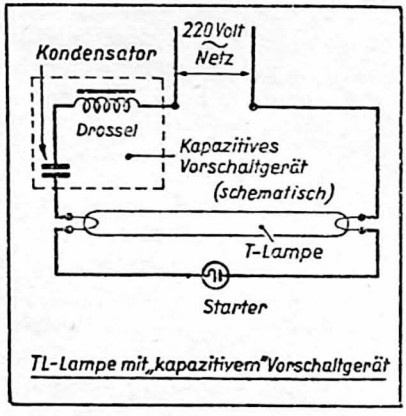
Zuschaltung
eines Kompensations-Kondensators

Es gibt eine Möglichkeit, den Blindstrom zu kompensieren, und zwar durch die Zuschaltung eines Kondensators. Der „induktive" Blindstrom der Drossel wird durch den entgegen gerichteten „kapazitiven" Blindstrom des Kondensators fast wieder aufgehoben. Schaltungstechnisch wird der „Kompensationskondensator" an die Netzklemmen gelegt.

Die Größenordnung dieses Kondensators muß den Blindleistungswerten der Drossel entsprechen. Nicht jeder beliebige Kondensator darf verwendet werden, wenn richtig kompensiert werden soll.



In dem Schaltbild wurde ein dem Leser noch nicht bekanntes Symbol für den „Starter" (Glimmzünder) eingezeichnet, das häufig verwendet wird. Es wird verständlich, wenn man weiß, daß der Bimetallstreifen in der praktischen Ausführung des Starters gleichzeitig eine der Elektroden ist.

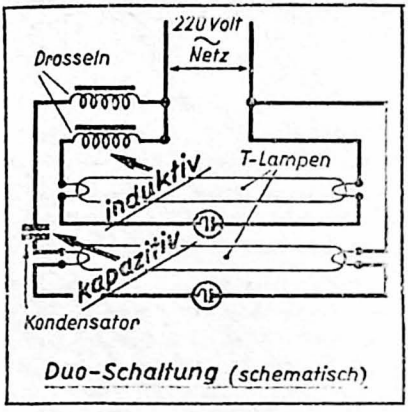


TL-Lampe mit „kapazitivem" Vorschaltgerät

Außer dem „induktiven" Vorschaltgerät, das lediglich aus einer Drossel besteht, wenn nicht ein kompensierender Kondensator hinzugenommen wird, gibt es ein „kapazitives" Vorschaltgerät, dessen prinzipielle Schaltung das Bild zeigt.

Eine Drossel darf auch hier nicht fehlen, wir wissen ja, daß ihr wichtige Aufgaben zukommen. Diese „kapazitive" Schaltung zwingt den Wechselstrom, seinen Weg über einen Kondensator zu nehmen. Man drückt sich wenigstens fälschlich so aus. In Wirklichkeit kann der Strom nicht d u r c h den Kondensator fließen. Die wechselseitigen Aufladungen der Kondensator-Beläge rufen nur den Eindruck hervor, als sei der Kondensator für Wechselstrom „durchlässig" (siehe hierzu Folge II/77).

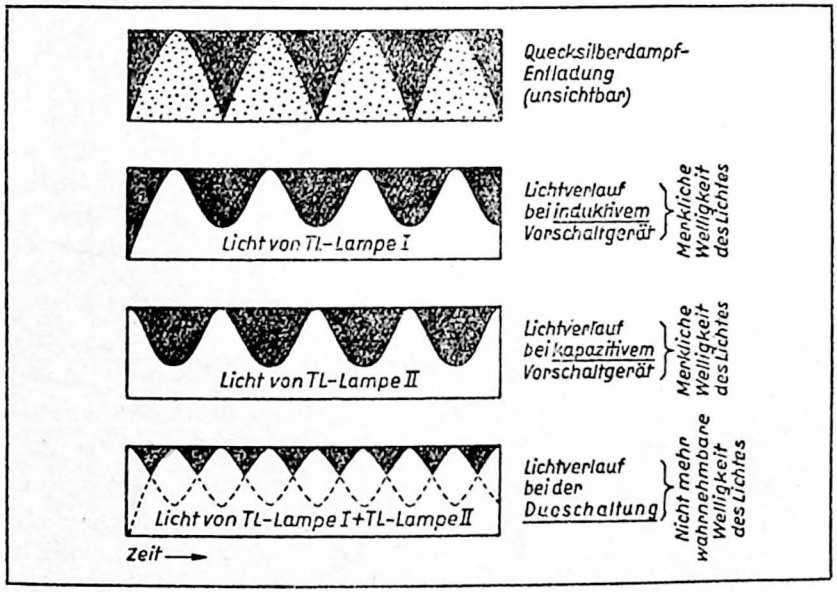
Das kapazitive Vorschaltgerät (Drossel und Kondensator) ruft ebenfalls einen Blindstrom hervor, der den Leistungsfaktor (kapazitiv) auf 0,45 herabsetzt. Betreibt man zwei Leuchtstofflampen derart, daß die eine ein „induktives" und die andere ein „kapazitives" Vorschaltgerät erhält, so resultiert ein guter Leistungsfaktor. Der induktiv bedingte Leistungsfaktor mit dem Wert 0,5 und der kapazitiv bedingte mit dem Wert 0,45 rufen eine Kompensation hervor, die im Endeffekt einen Leistungsfaktor gleich 0,95 ergibt. Der günstigste Wert 1 ist fast erreicht und der Blindstromverlust vernachlässigbar klein.



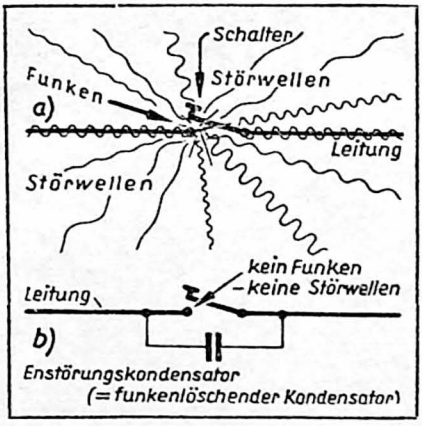
Duo-Schaltung (schematisch)

Eine derartige Doppelschaltung, deren theoretisches Schaltbild hier wiedergegeben ist, nennt man **Duo-Schaltung.** Das „kapazitive" Vorschaltgerät wird praktisch nicht allein, sondern nur in der Duoschaltung verwendet.

Die Kompensation mit Hilfe der Duoschaltung hat gegenüber der vorher angegebenen Kompensationsmöglichkeit (Parallelschaltung eines Kondensators zum Netz) einen bedeutenden Vorteil: Das ständige Hin und Her des Wechselstroms ruft beim Betrieb einer Einzellampe ein unangenehmes Flimmern hervor, das trotz des Nachleuchtens der Leuchtkristalle nicht ganz verschwindet. Bei schnellen Bewegungen können diese Lichtschwankungen unangenehm störend in Erscheinung treten, z. B. bei der Beleuchtung von Maschinenbewegungen und laufenden Rädern.



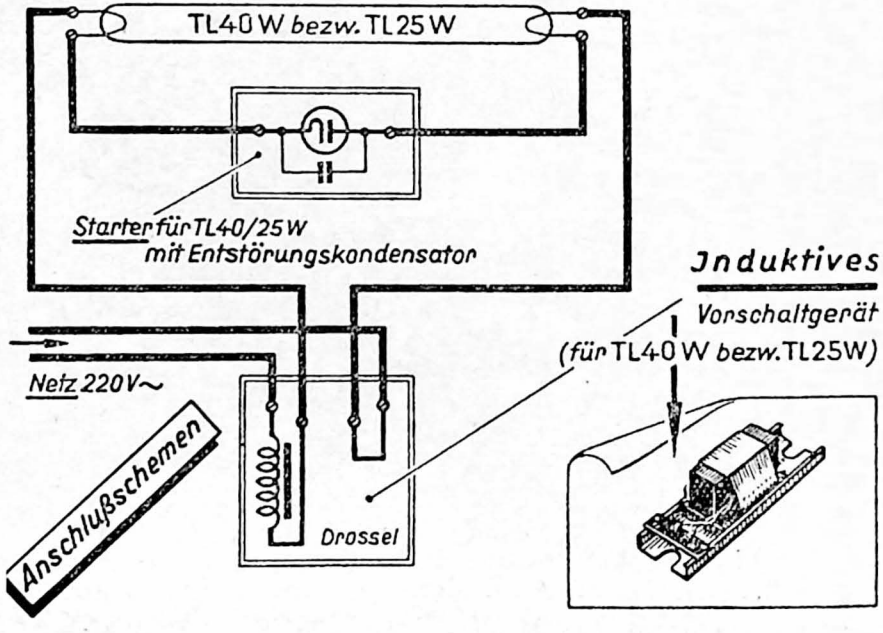
Die Duoschaltung schafft einen wünschenswerten Ausgleich, wie die gegenüber den wirklichen Verhältnissen stark vergröberte zeichnerische Darstellung andeutet.

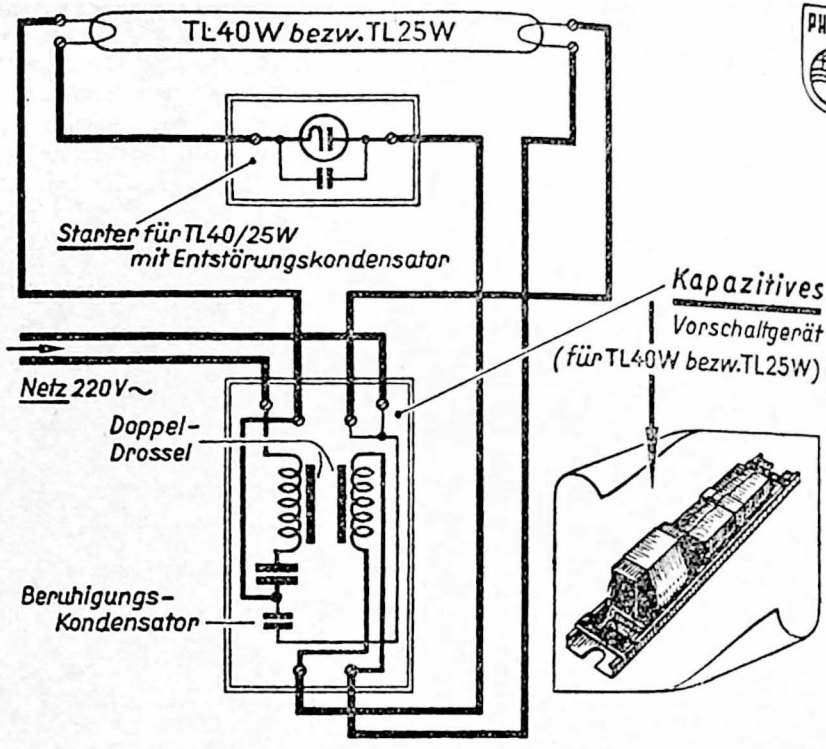


Rundfunkstörungen entstehen überall dort, wo Funken auftreten, auch z. B. beim Ein- und Ausschalten von Glühlampen. Von jedem elektrischen Funken gehen „Funk-Wellen" aus, höchst unerwünschte Störwellen. Man bemüht sich deshalb bei allen elektrischen Anlagen, die Funkenbildung zu verhindern oder zu verringern.

Das Parallelschalten eines Kondensators zur Funkenstrecke hat sich als wirksames Mittel gezeigt.

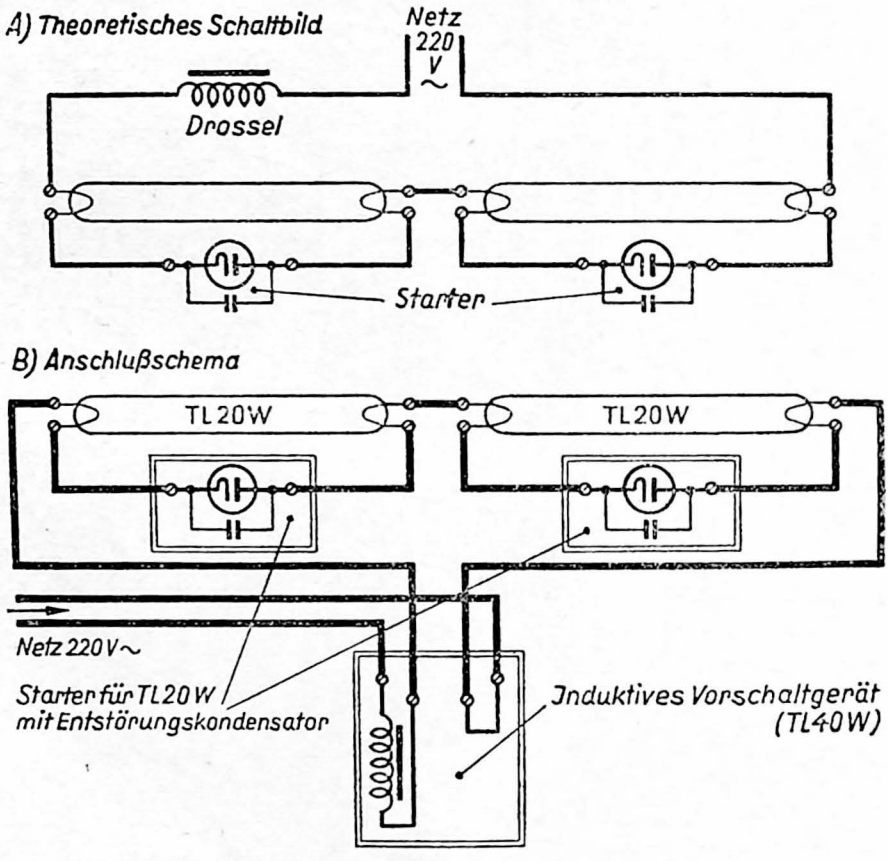
Um die bei der Glimmzünder-Kontakt-Gebung auftretenden Funken zu löschen, schaltet man einen Kondensator parallel zum Starter. Der Entstörungskondensator ist in den beiden Schaltbildern, welche die praktische Ausführung von TL-Lampen-Anlagen (mit den Anschlüssen ihrer Vorschaltgeräte, den Lampen selbst und den Startern) zeigen, miteingezeichnet.





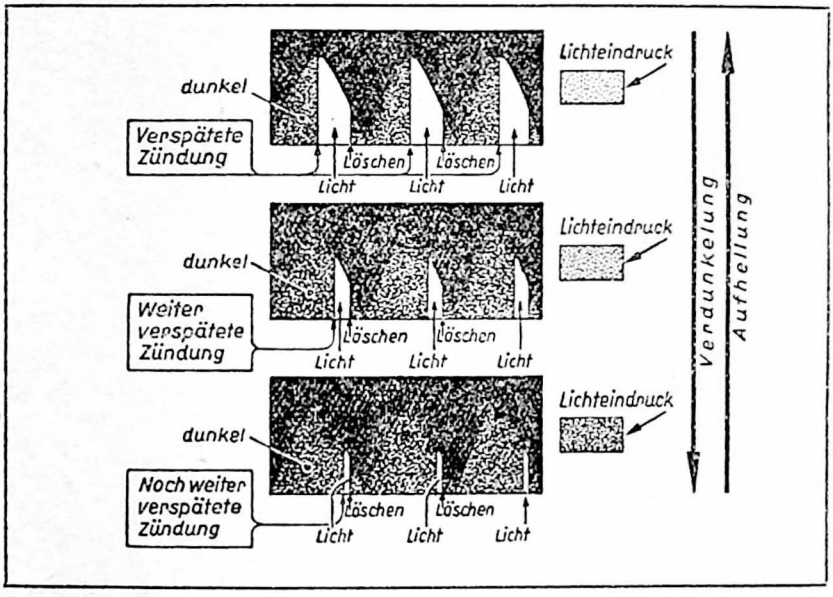
In den seltensten Fällen muß mehr zur Entstörung getan werden, müssen weitere Störwellen ableitende Kondensatoren oder Störwellen hemmende Drosseln besonderer Art zusätzlich verwendet oder die Leitungen abgeschirmt werden.

Die kleinste der Leuchtstofflampen, die TL 20 W, sollte nicht im Einzelbetrieb verwendet werden. Infolge ihrer niedrigen Brennspannung neigt sie zum Flimmern. Setzt man ihre Betriebsspannung über einen Transformator herab, so arbeitet die Lampe zwar völlig normal, aber die zusätzliche Verwendung eines Transformators verteuert das Vorsatzgerät unnötig. Daher schaltet man besser zwei TL 20 W zur „Tandem-Schaltung" hintereinander (unkompensiert).

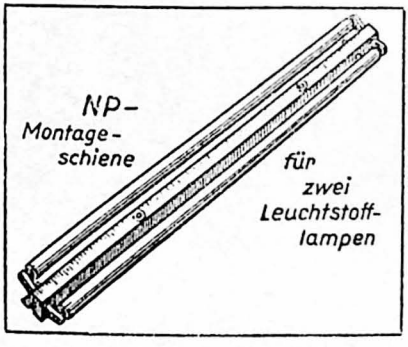


Für die TL 40 W wurde ein besonderer Sicherheitsstarter entwickelt, der die Lampe bei Störungen, z. B. bei wiederholten vergeblichen Zündversuchen, ausschaltet. Nach dem Auswechseln der defekten Lampe genügt die Betätigung eines (roten) Druckknopfes zur Inbetriebnahme. Der Sicherheitsstarter zeigt seine Vorzüge besonders, wenn die Leuchtstofflampen zu altern anfangen und zum Flackern neigen. Das würde man z. B. in Konzert- oder Vortragsräumen recht unangenehm empfinden. Neuanlagen sollten von vornherein mit Sicherheitsstartern, deren Mehrpreis nur gering ist, ausgestattet werden.

Zur Zeit der ersten Verwendung von Leuchtstofflampen hatte man noch keine Möglichkeit gefunden, ihr Licht langsam abnehmen oder zunehmen zu lassen. Deshalb war die Verwendung dieses modernen Beleuchtungsmittels für Theater und Kinos ungeeignet. Glühlampen lassen sich durch vorgeschaltete Regelwiderstände oder Regeltransformatoren auf einfache Weise verdunkeln bzw. aufhellen. Die gleiche Methode läßt sich bei den TL-Leuchtstofflampen nicht anwenden. Hier bedarf es eines besonderen Zusatzgerätes, das die Zündung durch eine kurzzeitig wirkende und zu ganz bestimmten Zeitpunkten der Wechselstromperiode einsetzende Zündspannung zu regeln gestattet.



In grober Versinnbildlichung mag nebenstehende Zeichnung die Vorgänge verständlich machen. Das Steuergerät, das mit sogenannten Thyratron-Röhren arbeitet, kann sich an beliebiger Stelle befinden: Fernbedienung.

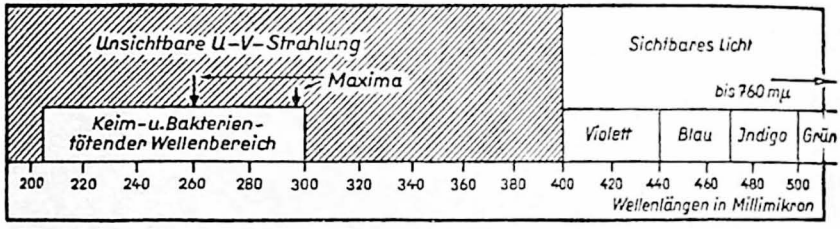


Die Installation der TL-Lampen wird entweder in „freier" Montage oder als „Schienenmontage" vorgenommen. Letztere ist einfacher und zweckmäßiger. Die sogenannte „NP-Montageschiene" trägt die Leuchtstofflampen (eine, zwei oder drei) freistrahlend oder in Mattglasverkleidung, die sich leicht anbringen läßt.

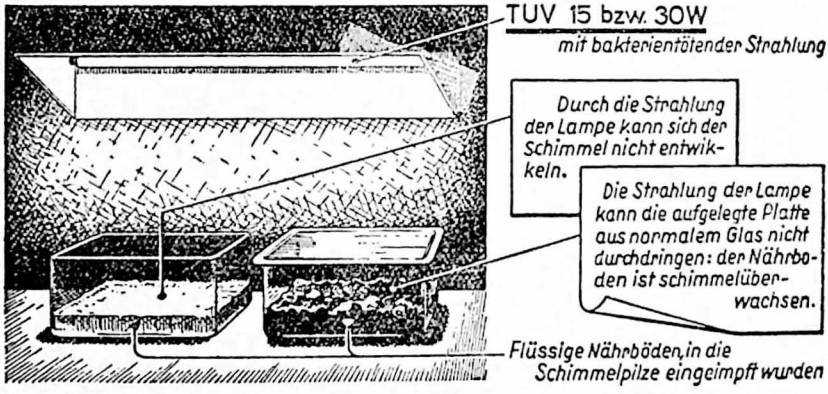
Die TL-Lampen zeichnen sich in jeder Hinsicht durch Stabilität aus: sie sind sowohl widerstandsfähig gegen mechanische Erschütterungen, als auch unempfindlich gegen Spannungsschwankungen, die sich auf die Lichtabgabe praktisch nicht auswirken. Ihre geringe Wärmeentwicklung — sie werden während des Betriebes nur handwarm — macht sie für viele Anwendungsgebiete besonders geeignet. Die Brennlage der Leuchtstofflampen ist beliebig.

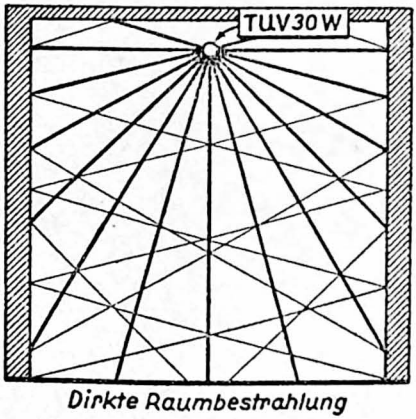
H) DIE BAKTERIENTÖTENDE LAMPE TUV 15 W UND 30 W

Eine Sonderausführung der Niederdruck-Quecksilberdampflampe ist die bakterientötende TUV 15 W bzw. 30 W. Ihre Röhrenwand ist nicht mit Leuchtstoff bestrichen. Man verwendet für diese Lampe ein besonderes Glas, das für das Gebiet der ultravioletten Strahlung, auf das es hier besonders ankommt, durchlässig ist.



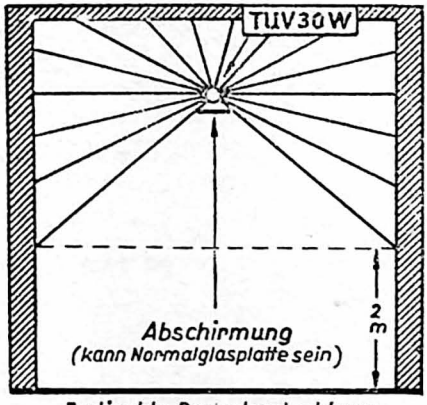
Zwischen 200 und 300 Millimikron übt die ultraviolette Strahlung keim- und bakterientötende Wirkungen aus. Strahlung dieser Wellenlängen wird von gewöhnlichem Glas absorbiert.





Dirkte Raumbestrahlung

Diese Speziallampen werden vorteilhaft zur Luftreinigung angewendet. Ihre Strahlung setzt den Keimgehalt der Luft u. U. auf weniger als 1% herab. Beim Betreten direkt bestrahlter Räume sind gewisse Vorsichtsmaßnahmen für die Augen zu treffen (Klarglasbrille, Blendschutz).



Indirekte Raumbestrahlung

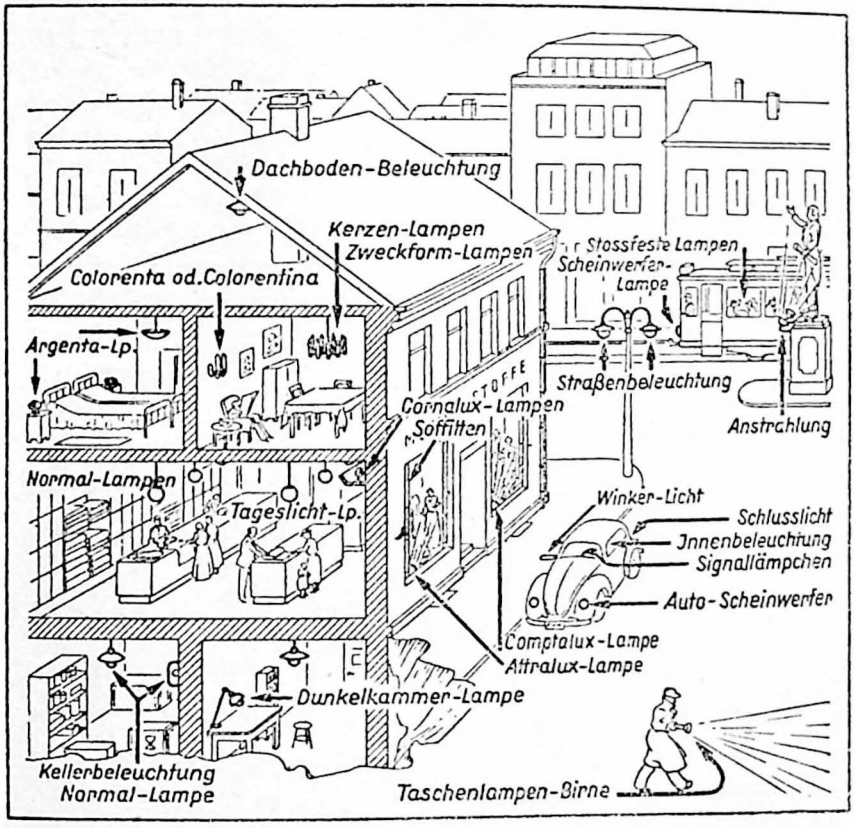
In Räumen, in denen sich dauernd Menschen oder Tiere aufhalten, ist die indirekte Bestrahlung vorzuziehen. — Bei Lüftungsanlagen kann die TUV so im Luftstrom angeordnet werden, daß ihre Strahlung von einem umgebenden Zylinder, durch den die Luft geleitet wird, abgefangen wird.

Neben der Raumentkeimung wird die TUV zur Sterilisierung benutzt (in der pharmazeutischen Industrie, in bakteriologischen Laboratorien, zur Aufbewahrung und Verarbeitung von Lebensmitteln).

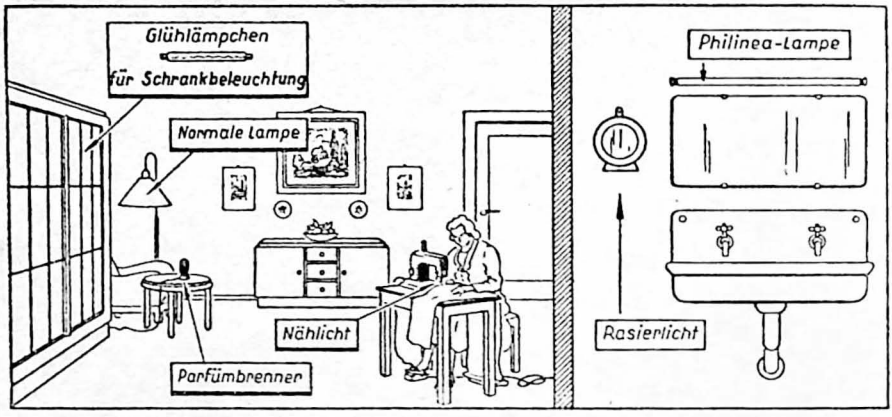
I) VERWENDUNG DER LICHTQUELLEN

1. Glühlampen

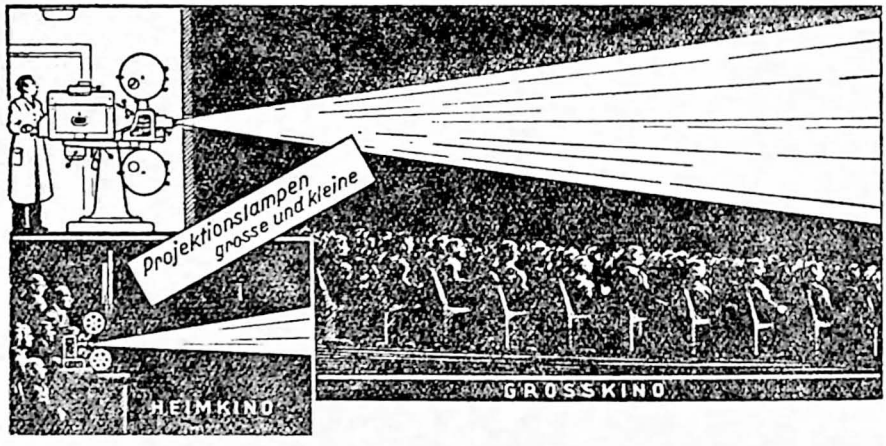
Mit Glühlampen können fast alle lichttechnischen Aufgaben erfüllt werden; man kann sie praktisch überall verwenden, sei es in Innenräumen oder im Freien, sei es in Arbeits- oder Wohnräumen, in festlichen Sälen und Theatern, oder auf Plätzen und in Straßen. Stets lassen sie sich den gegebenen Verhältnissen anpassen.



Im Heim bieten sich für die Verwendung von Glühlampen neben der normalen Beleuchtung Hunderte von Möglichkeiten praktischer und dekorativer Art: Nählicht, Parfümbrenner, Spiegelbeleuchtung usw. Die warme, rötlich-gelbe Lichtfarbe schafft bei richtig gewählter Lampenleistung die Atmosphäre, in der man sich wohlfühlt.



Die zu Projektionszwecken und für Scheinwerfer besonders entwickelten Typen genügen, in den Brennpunkt der optischen Systeme gestellt, dank der geringen Ausmaße ihrer Leuchtsysteme allen auf diesem Gebiet gestellten Anforderungen, sei es, daß sie im Bildwerfer des Kinos oder im Kleingerät für das Heim, sei es als Auto- oder Lokomotivscheinwerferlampe oder wo es sonst noch sei, Dienste tun.



In ortsveränderlichen Anlagen, z. B. in Straßenbahnen oder Eisenbahnwagen, in kleinen und großen Land- und Wasserfahrzeugen sind die den jeweiligen Bedürfnissen angepaßten Glühlampen unentbehrliche Lichtspender geworden. — Die geringen Ausmaße der Kleinstlampen ermöglichen Batteriebetrieb in Taschenlampen und tragbaren Scheinwerfern, in medizinischen und wissenschaftlichen Geräten.

Alle Glühlampenarten lassen sich leicht montieren und noch leichter auswechseln. Die Anschaffungskosten sind gering. Der jeweils erforderliche Lichtstrom läßt sich beliebig unterteilen, die Lampen selbst haben geringe Ausmaße. Es läßt sich kaum noch ein Vergleich mit den älteren Lichtquellen ziehen.

2. Quecksilber- und Natriumdampflampen

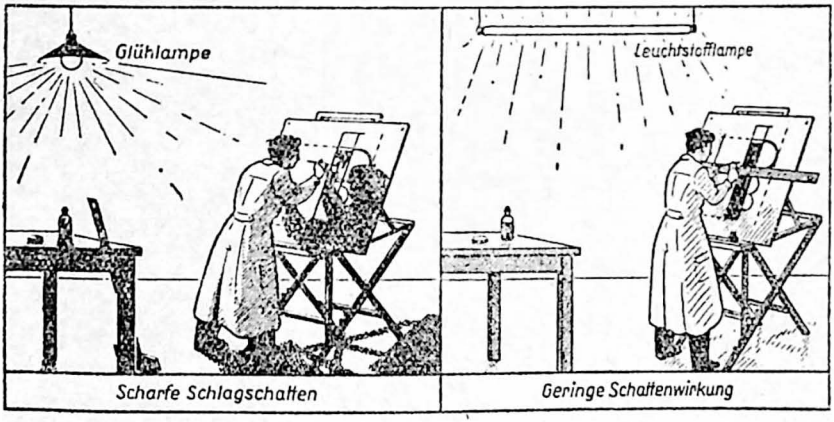
Die sehr hohe Lichtausbeute und die lange Lebensdauer der Quecksilber- und Natriumdampflampen lassen diese Typen für die Beleuchtung von Werkstätten und Fabriksälen, von Straßen und Wasserwegen, von Lagerplätzen und Bahnhöfen besonders geeignet erscheinen, wenn es auf gute Sehschärfe ankommt und weniger auf eine „natürliche" Lichtfarbe.

3. Mischlichtlampen

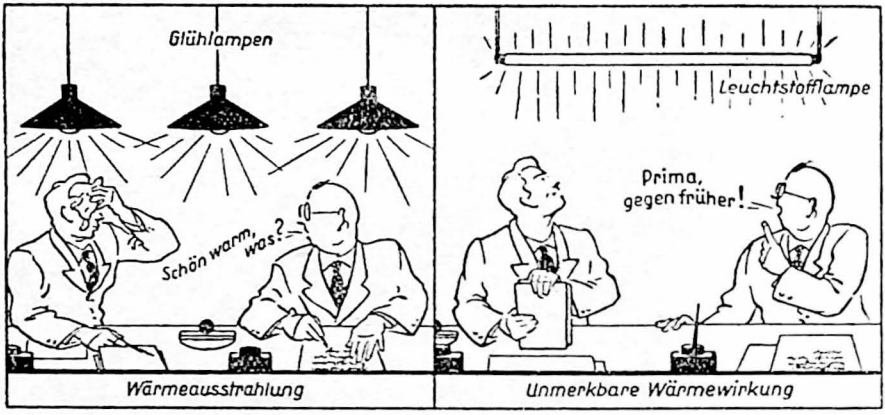
Bei annähernd „weißem" Licht eignen sich die Mischlichtlampen bei guter Lichtausbeute nicht nur für Außenbeleuchtung, sondern in vielen Fällen auch für Innenbeleuchtung, insbesondere größere Räume. Ihr Licht wird angenehm empfunden, da es tageslichtähnlich ist und mithin Farbunterschiede ähnlich wie im Tageslicht erkennen läßt.

4. Leuchtstofflampen (TL-Lampen)

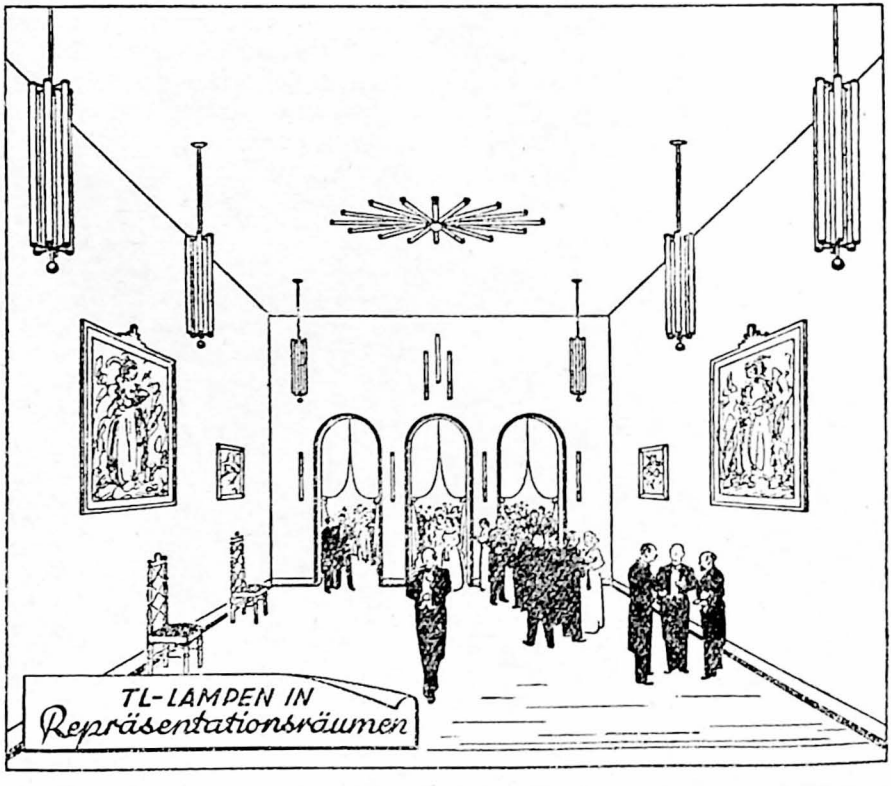
Glühlampen sind mehr oder weniger punktförmige Lichtquellen, denen die TL-Lampen mit ihrer großflächigen Lichtabgabe in manchem überlegen sind. In Anlagen mit über 20 Watt Anschlußwert — das sind die weitaus meisten — ist ihre Verwendung sowohl aus architektonischen wie aus lichttechnischen Gründen in hervorragendem Maße zu empfehlen. Ihre Lichtfarbe kann den jeweiligen Wünschen angepaßt werden, ihre Großflächigkeit erzeugt weiche Schatten.



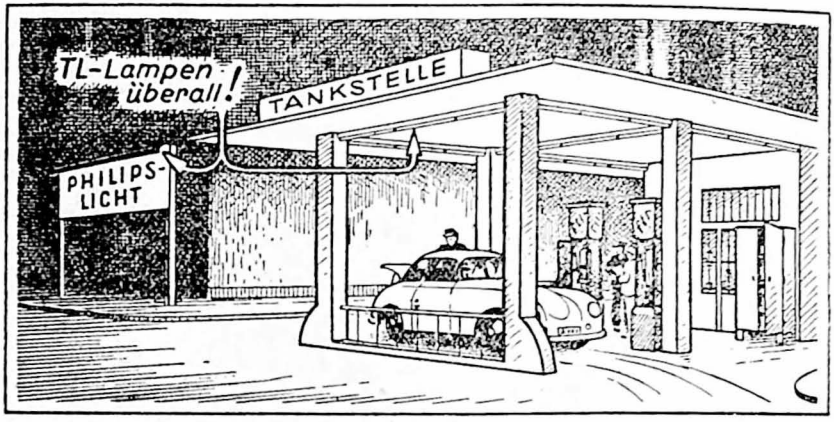
Diese Tatsache und die geringe Wärmeentwicklung sprechen für die Verwendung von „TL"-Lampen zur Allgemeinbeleuchtung von Arbeitsräumen.



Ebenso bieten sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten von TL-Lampen in Repräsentationsräumen, sowohl in Hinsicht auf dekorative Wirkungen als auch in bezug auf die einfache und gute Ausleuchtung großer Flächen. — In Hohlkehlenanlagen oder in besonderen Leuchten untergebracht liefern die TL-Lampen sehr angenehmes indirektes Licht.



Im Freien können Leuchtstofflampen mannigfache gute Dienste leisten, da Blendungsgefahr infolge ihrer geringen Leuchtdichte kaum besteht. Unter anderem eignen sie sich zur Anleuchtung von Reklameflächen, zur Beleuchtung von Straßen, Plätzen, Bahnhöfen, Tankstellen usw.



Die lange Lebensdauer und die hohe Lichtausbeute der „TL"-Lampen geben ihnen den Vorteil großer Wirtschaftlichkeit. Sie mag aus dem folgenden Beispiel hervorgehen, in dem die Verhältnisse bei einer „TL" 40 W und bei einer 150-W-Glühlampe in Parallele gestellt sind. Beide Lampen geben etwa den gleichen Lichtstrom ab.

Anlagekosten

	TL-Lampe (40 W)	Glühlampe (150 W)
Preis der Lampe	DM 12,—	DM 2,50
Zubehör (Leuchten, Vorschaltgerät, Starter usw.)	DM 45,—	DM 20,—
	DM 57,—	DM 22,50

Jahresbetriebskosten

(für 2000 Brennstunden pro Jahr)

Stromkosten (bei einem Strompreis von 0,15 DM je Kilowattstunde)	DM 15,—	DM 45,—
Lampenersatz	DM 8,—	DM 5,—
10% Amortisation der Anschaffungskosten (ohne Kosten der Erstbestückung)	DM 4,50	DM 2,—
	DM 27,50	DM 52,—

Unter Zugrundelegung der vorgenannten Zahlenwerte, die zwar Schwankungen unterworfen sind, ergibt sich, daß die höheren Anschaffungskosten der „TL"-Anlage bereits nach 1½ Jahren ausgeglichen sein können.

Der Anschlußwert je Quadratmeter einer Beleuchtungsanlage beträgt für durchschnittliche Anforderungen und Voraussetzungen

bei „TL"-Lampen	12 . . . 15 Watt je Quadratmeter
bei Glühlampen	35 . . . 50 Watt je Quadratmeter

K) PLANUNG VON BELEUCHTUNGSANLAGEN

Planung nach dem Verwendungszweck des Raumes oder Platzes

a) Beleuchtungsstärke

Es ist selbstverständlich, daß die Beleuchtungsstärke den jeweiligen Verhältnissen angepaßt und hier anders als dort vorgesehen werden muß. In erster Linie ist der Verwendungszweck des zu beleuchtenden Raumes oder Platzes maßgebend für die Planungsarbeit des Lichtfachmannes.

Aufgabe der künstlichen Beleuchtung ist es, ähnliche, wenn nicht gleiche, ja bessere Bedingungen zu schaffen, als sie durch das Tageslicht gegeben sind. — Der Lichttechniker empfiehlt für die verschiedenen Fälle bestimmte Luxwerte (Werte der Beleuchtungsstärke). Sie geben jedoch nur Anhaltspunkte, da das subjektive Empfinden des einzelnen nicht in allgemeinen Zahlenangaben zum Ausdruck gebracht werden kann und bei jeder Anlage zahlreiche beeinflussende äußere Momente mitwirken, welche die Tabellenwerte wesentlich verschieben können. Um ein drastisches Beispiel zu wählen: es ist für die Wahl der Beleuchtungsstärke nicht gleichgültig, ob ein Raum mit schwarzem Samt ausgeschlagen ist oder seine Wände weiß getüncht sind. Der Reflexionsgrad der umgebenden Flächen ist ein wesentlicher Faktor. Sollen gleich gute Sehbedingungen hier wie dort geschaffen werden, so muß die Beleuchtungsstärke in Räumen mit schlecht reflektierenden Flächen höher gewählt werden als in solchen mit hellen, das Licht gut zurückwerfenden Farben. In der Tabelle (S. 392) sind die Reflektionsgrade einiger Materialien und Farbanstriche in Prozenten angegeben:

Für die Beleuchtung von **Heimräumen** lassen sich Richtlinien nur mit großen Toleranzen geben. Hier wirkt sich das subjektive Moment besonders stark aus. Immerhin haben praktische Erfahrungen gezeigt, daß die im folgenden genannten Luxzahlen als Durchschnittswerte für Allgemeinbeleuchtung angenommen werden dürfen:

Anforderungen	Reine Allgemein-Beleuchtung	
	Mindestwerte in Lux	Empfohlene Werte in Lux
niedrig	30	60
mittel	60	120
hoch	100	250

Auch der Verwendungszweck der Räume (Wohnzimmer, Schlafzimmer, Bad usw.) bestimmt die Beleuchtungsstärke.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei **Arbeits- und Werkräumen.** Hier kommt zu der reinen Allgemeinbeleuchtung oft eine besondere Arbeitsplatzbeleuchtung. Die folgende Tabelle enthält heute gebräuchliche Werte.

Material oder Farbe	Reflexion in %
Silber glänzend poliert	88—93
Weißer Ölfarbenanstrich, neu	85
Weißer Stuck, neu (trocken)	80
Lichtcremefarbiger Anstrich, neu	66—75
Weißer Ölfarbenanstrich, alt	75
Email, weiß	65—75
Strohgelber Anstrich, neu	65
Helles Birken- oder Ahornholz	60
Weißer Stuck, alt	60
Holzfaserplatte, cremefarben, neu	50—60
Rosafarbener, silbergrauer oder lichtgrüner Anstrich	50
Beton, neu	20—30
Hell lackiertes Eichenholz	30
Himmelblauer Anstrich	40
Holzfaserplatte, cremefarben, alt	30—40
Olivgrüner oder lichtbrauner Anstrich	30
Geranienroter Anstrich	20
Ziegelstein, rot, neu	10—15
Dunkelgrüner Anstrich	15
Dunkel gebeiztes Eichenholz, Mahagoni, Nußbaumholz	10—15
Dunkelbrauner Anstrich	10
Ziegelstein, alt	5—10
Marineblauer Anstrich	5
Schwarzer Samt	0,4

Art der Arbeit	Reine Allgemeinbeleuchtung Durchschnittswerte in Lux		Allgemeinbeleuchtung und Arbeitsplatzbeleuchtung in Lux	
	Mindest-Werte	Empfohlene Werte	Arbeitsplatz-Beleuchtung	Allgemeinbeleuchtung durchschnittlich
Grobe Arbeit in Magazinen u. Packräumen, ferner Schmieden, Eisengießen usw.	30	60	—	—
Mittelfeine Arbeit Kochen, Waschen, Zimmern, einfaches Formen, Stanzen, Metzgerarbeiten usw.	60	120	250	30
Feine Arbeit Nähen, Weben, Spinnen, Zuschneiden, Lesen, Schreiben, Maschinenschreiben, Setzen, Drucken, schwieriges Formen usw.	100	250	500	40
Sehr feine Arbeit Gravieren, Nähen und Weben dunkler Stoffe, Zeichnen, Feinmechanik, Handsatz usw.	200	600	1000-4000	80-300

Bei besonderer Arbeitsplatzbeleuchtung wird stets eine zusätzliche Allgemeinbeleuchtung empfohlen, um zu große Gegensätze zu vermeiden und Schattenwirkungen zu mildern.

Die in der Tabelle angegebenen Zahlen gelten für einen mittleren Reflexionsgrad des Arbeitsgutes (40—60%). Für Arbeitsbeleuchtung soll die Leuchtdichte zwischen 50 und 200 Apostilb liegen. Den Wert der entsprechenden Beleuchtungsstärke bei diffuser Reflexion erhält man, wenn man die Leuchtdichte durch den Reflexionsgrad teilt.

Bürotätigkeit ist in die Klasse der feinen bzw. der sehr feinen Arbeit einzureihen. In **Büroräumen** geht man in letzter Zeit immer mehr dazu über, für gute Allgemeinbeleuchtung zu sorgen, anstatt eine besondere Arbeitsplatzbeleuchtung mit schwächerer Allgemeinbeleuchtung zu verbinden. Dabei war maßgebend, daß sich das Auge bei ungleichmäßiger Lichtverteilung im Raum häufiger umstellen muß und dabei ermüdet. Hinzu kommt, daß die Arbeitsplatz-Einzelbeleuchtung installationsmäßig ungünstiger ist, insofern, als u. U. eine größere Zahl von Steckdosen erforderlich wird, die selten beim ersten Entwurf an der später als richtig erkannten Stelle sitzen, und daß das Strippengewirr der vielfältigen Zuleitungen störend wirkt.

Ganz anders wieder liegen die Verhältnisse bei der Beleuchtung der Waren in **Schaufenstern.** Die zu wählende Beleuchtungsstärke hängt hier natürlich in starkem Maße von der Farbe und dem Re-

flexionsvermögen der ausgestellten Gegenstände ab. Auch muß auf die Art der Straße, in der sich die Schaufenster befinden, Rücksicht genommen werden. Der Inhaber eines Geschäftes in der ruhigen Straße eines kleinen Städtchens braucht nur einen Teilbetrag an Stromkosten für seine Schaufensterbeleuchtung aufzubringen, um den gleichen Erfolg zu erzielen wie der Geschäftsmann, dessen Laden in der Hauptstraße einer Großstadt liegt; er muß an attraktiver Lichtgestaltung allein schon aus Konkurrenzgründen ein Mehr tun.

Richtlinien für die Schaufensterbeleuchtung gibt folgende Tabelle:

Art der Straße	Beleuchtungsstärke in Lux		
	Großstädte	Provinzstädte	Dörfer
Stille Straßen	200 — 400	—	—
Belebte Straßen	300 — 600	200 — 400	100 — 200
Hauptstraßen	500 —1500	300 — 500	200 — 400

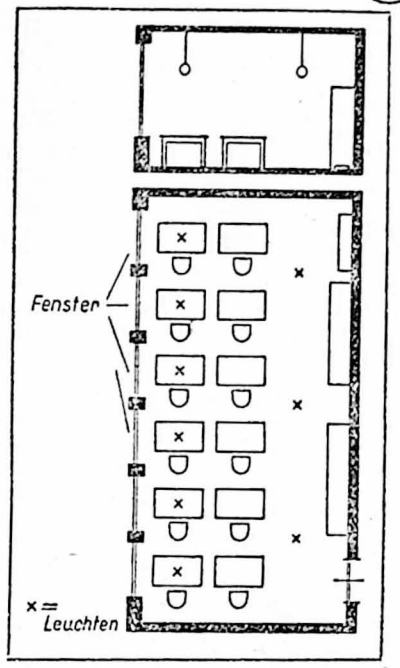
Besonders dunkle Waren verlangen etwa 50% höhere Beleuchtungsstärken. — Das sind Mindestwerte, die in der Praxis oft weit überschritten werden. 5000 Lux sind für die Beleuchtung von Großstadt-Schaufensterläden durchaus keine Seltenheit.

Bei Verwendung von umkleideten Lampen (z. B. in Leuchten) muß der planende Lichttechniker ihre Zahl um 20% bis 50% höher wählen, da das matte Glas der meisten Leuchten einen beträchtlichen Lichtanteil verschluckt und zerstreut.

b) Gleichmäßigkeit der Beleuchtung.

Schon im vorigen Abschnitt wurde die Wichtigkeit einer gleichmäßigen Beleuchtung angedeutet. Um die anzustrebende Gleichmäßigkeit der Beleuchtung zu erreichen, muß die Aufhängehöhe der Leuchten in ein bestimmtes Verhältnis zu ihrem Abstand voneinander gebracht werden (Aufhängehöhe = mindestens zwei Drittel des Abstandes).

Weiter ist zu beachten, daß sich die Lampen bzw. die Leuchten außerhalb des normalen Gesichtsfeldes befinden sollen.



Für sehr große Räume sind andere Gesichtspunkte maßgebend. Hier nur ein Beispiel für einen Büroraum, der tagsüber sein Licht durch eine Front breiter Fenster erhält. Wie das Bild zeigt, ordnet man die Leuchten so an, daß doppelt so viele an der Fensterseite hängen als an der Wandseite. Abends sorgen helle Vorhänge für gute Lichtreflexion.

Eine gewisse Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke sollte auch in zusammenhängenden Räumen und Gängen vorgesehen werden. Die Umstellung des Auges auf andere Helligkeitswerte setzt die Sicherheit herab.

Aber nicht nur auf die örtliche, sondern auch auf die zeitliche Gleichmäßigkeit des Lichtes kommt es an. Die einzelnen Lichtquellen dürfen nicht erkennbaren Lichtschwankungen unterworfen sein: sie dürfen vor allem nicht flackern. Trotz der Wechselstromfrequenz von 50 Hz wird das Glühlampenlicht als zeitlich konstant empfunden. Einzeln angebrachte Leuchtstofflampen aber können bei bewegten Gegenständen stroboskopische Effekte hervorrufen (wie man sie z. B. aus dem Kino kennt: Stillstehen oder Rückwärtsdrehen der Räder fahrender Wagen usw.). Schon bei Verwendung zweier Leuchtstofflampen läßt sich diese Erscheinung durch schalttechnische Kniffe praktisch beseitigen.

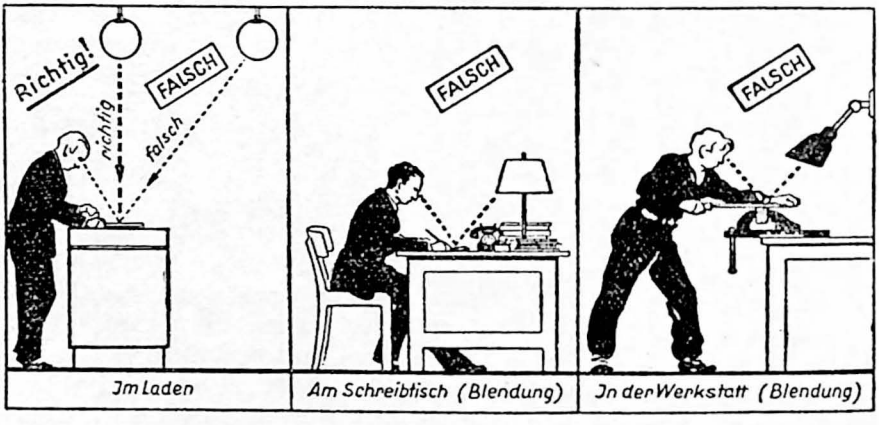
B l e n d u n g muß unter allen Umständen vermieden werden, sie ist gleichbedeutend mit einer Überanstrengung des Sehorgans und kann schon bei geringer Lichtstärke auftreten. Es sei nur an das Anzünden eines Streichholzes im dunklen Raum erinnert, dessen Licht dem Auge weh tut und Im Vergleich dazu an das brennende Streichholz im Freien bei strahlendem Sonnenschein, dessen Flamme man kaum sieht.

Es kommt darauf an, in welchem Helligkeits-Empfindlichkeitszustand das Auge sich jeweils befindet.

„Nackte" Klarglas-Glühlampen mit hoher Leuchtdichte blenden u. U. stark, weniger die mattierten oder opalisierten Typen, wie die Argenta-Lampen. In Wohn- oder Arbeitsräumen wird man stets für eine Licht verteilende — besser Leuchtdichte verteilende — Umhüllung der Glühlampe sorgen. Die Lampe kann z. B. in einem lichtundurchlässigen Reflektor untergebracht werden, so daß die Lampe für das normale Blickfeld unsichtbar bleibt und der Lichtstrom auf das Arbeitsfeld gerichtet wird.

Für Arbeitsplatzleuchten soll eine Leuchtdichte von 0,2 Stilb im Ausstrahlungsbereich zwischen 75° und 180° nicht überschritten werden.

Indirekte Blendung ist ebenso zu vermeiden wie direkte. Sie tritt ein, wenn sich Lichtquelle, spiegelnd reflektierende Fläche und Auge in ungünstiger Lage zueinander befinden. Beim Lesen, Schreiben, Zeichnen, kann es die spiegelnde Papierfläche sein, die blendet, bei der Metallbearbeitung die glänzende Oberfläche des Materials.



c) Die Lichtfarbe.

Im Heim und in festlichen Räumen bestimmt die Farbe des Kunstlichtes in hohem Maße die Stimmung. Hier wählt man vorzugsweise einen „warmen" rötlich-gelben Lichtton. Da die Farbe des Glühlampenlichtes von der Temperatur des Glühfadens abhängt, und da die stärksten Lampen die höchste Temperatur haben, kann man im allgemeinen sagen, daß die kleineren Glühlampen verhältnismäßig mehr rotes und gelbes Licht abstrahlen als die größeren. Mit Leuchtstofflampen, die hier besonders erwähnt werden müssen, läßt sich eine geeignete Farbanpassung leicht erreichen.

In Arbeitsräumen sind tageslichtähnliche oder weiße Lichtquellen oft angebrachter. Auch hier können Leuchtstofflampen mit Vorteil verwendet werden, um so mehr als ihr bläulicher Lichtanteil mit dazu beiträgt, ermüdendes Zwielicht auszuschalten.

Wie früher schon gesagt, fördert einfarbiges Licht die Sehschärfe, so daß monochromatisches Licht vor allem in der Verkehrstechnik, aber auch in bestimmten Betrieben und in bestimmten Werkhallen günstige Verhältnisse schafft.

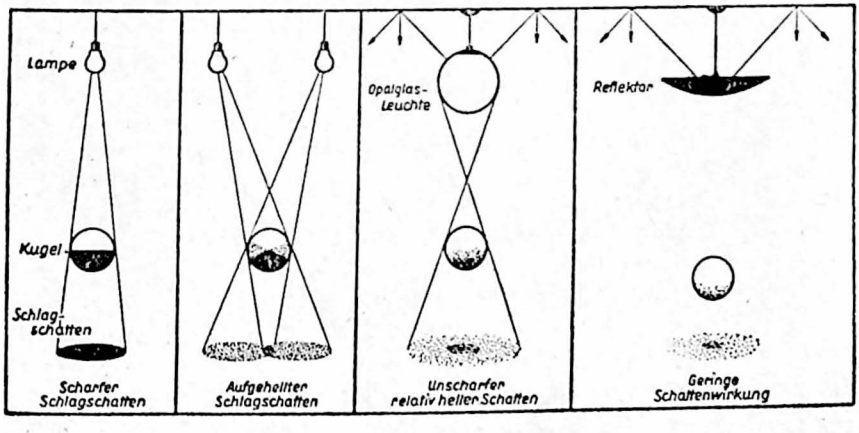
Wo dunklere Raumteile am Tage eine zusätzliche künstliche Beleuchtung erforderlich machen, wird ein in der Farbe vom Tageslicht stark abweichendes Kunstlicht störend empfunden. Hier sind Mischlicht- oder Leuchtstofflampen zu empfehlen, deren Lichtfarbe der des Tageslichtes näher kommt.

Nebenbei gesagt unterstützt eine geeignete Farbgebung der Wände und Decken die zielbewußte Arbeit des Lichttechnikers.

d) Schattenwirkung.

Scharfe Schlagschatten sind nur in wenigen Sonderfällen erwünscht. Vollkommene Schattenlosigkeit wiederum erschwert die Erkennbarkeit und ermüdet das Auge. Schlagschatten entstehen stets bei Verwendung einzelner Lichtquellen (insbesondere bei Klarglaslampen). —

Eine zweite Lichtquelle im gleichen Raum beleuchtet den von der ersten erzeugten Schatten und hellt ihn auf; die Schärfe des Schattens bleibt aber. Umgibt man eine „nackte" Lampe z. B. mit einer Opalglasglocke und hängt sie in einem Raum mit gut reflektierender weißer Decke (sekundäre Lichtquelle) auf, so werden die Schatten unscharf

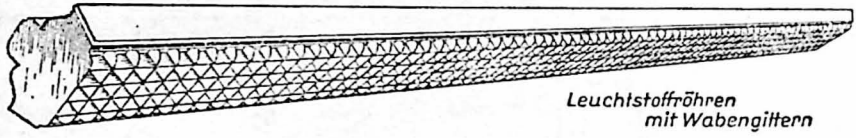


und relativ hell. Ein Mindestmaß an Schatten aber gleichzeitig ein Mindestmaß an plastischer Wirkung der beleuchteten Körper ergibt sich durch indirekte Beleuchtung bei Verwendung lichtundurchlässiger Reflektoren, die das Licht an die weiße Decke werfen, von der es nach allen Richtungen hin reflektiert wird.

Es wäre falsch, die Schattenwirkung künstlicher Lichtquellen g a n z ausschalten zu wollen (bis auf wenige Sonderfälle). Richtige Verteilung von Licht und Schatten läßt die Gegenstände besser erkennen, das Auge weniger ermüden.

e) Art der Beleuchtung.

In den vorigen Abschnitten wurden bereits verschiedene Angaben zur Lichtstromlenkung gemacht. Noch nicht erwähnt wurden die vielfach



Leuchtstoffröhren mit Wabengittern

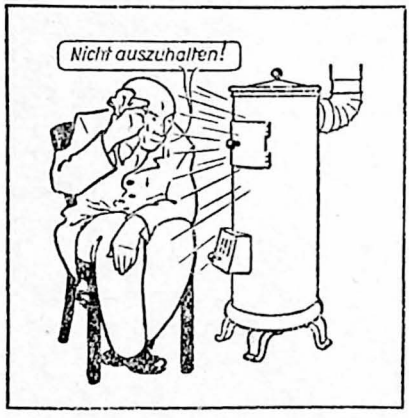
bei Leuchtstofflampen angewendeten Wabengitter, die eine gute Lichtverteilung gewährleisten. Hinzugefügt sei noch, daß die Verbindung von direkter und indirekter Beleuchtung meist am zweckmäßigsten ist.

Zu den weiteren Planungsaufgaben gehört die richtige Verteilung der Lampen, die Bestimmung der jeweiligen Leistungswerte und der Zahl der Lichtquellen, die Festlegung der Anbringungshöhe und Anbringungsart der Lampen. Schließlich muß die zu installierende Leistung errechnet und müssen die Anlagekosten fixiert werden.

V. Infrarot-Strahler

A) DIE INFRAPHIL-LAMPE

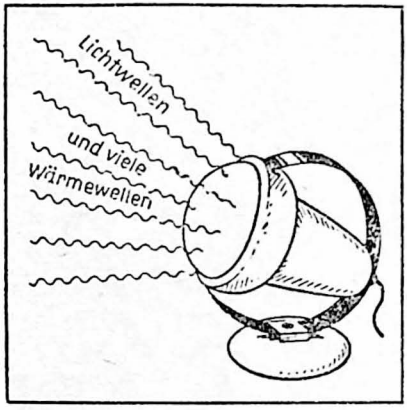
Die Infraphil-Lampe ist ein Wärmestrahler, aber ein besonderer, ein viele Leiden heilender, Schmerzen stillender Wärmestrahler.



Nun, ein Ofen ist auch ein Wärmestrahler, sei es ein Kohlenofen oder ein elektrischer. Wärme heilt; setzen wir uns also mit unseren Zahnschmerzen nahe an den glühenden Ofen. Vielleicht lassen die Schmerzen etwas nach; vielleicht — aber angenehm ist das Heilmittel wahrlich nicht.

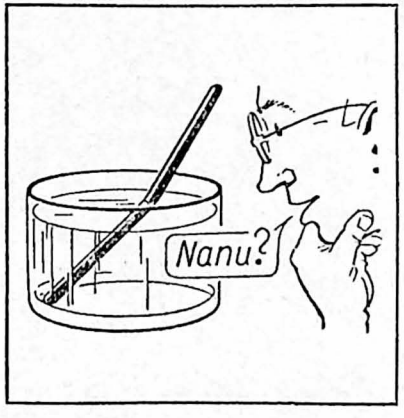
Wirksam sind bei der Wärmebestrahlung infrarote Strahlen. Unser Ofen gibt sie ab, aber in höchst ungeeigneter Weise, und nicht alle Ofenstrahlen sind heilende Infrarotstrahlen!

Die Infraphil-Lampe ist so konstruiert, daß sie ausgesprochen heilende und schmerzstillende Wellen aussendet, ohne daß ihr Einfluß sonst irgendwie unangenehm empfunden wird.

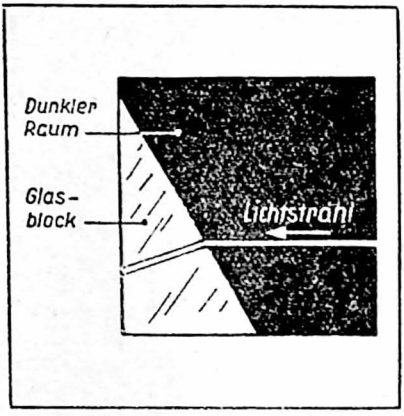


Die Infraphil-Lampe sendet Wärme- und auch Lichtstrahlen aus, d. h. Wärme- und Lichtwellen. Siehe hierzu auch die Ausführungen auf den Seiten 296 bis 297.

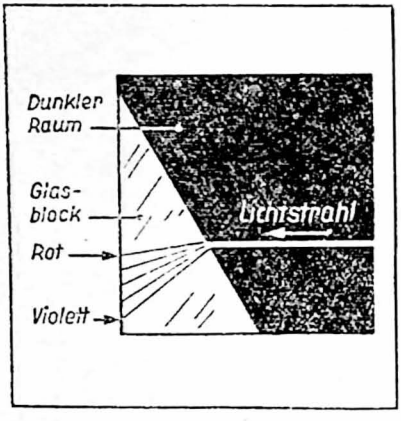
Manchmal sehen wir bei schönem Sonnenschein jene bunten Farbenspiele an der weißen Wand oder an der Decke, von denen die Physiker nüchtern als vom »Spektrum des Lichtes« sprechen. Sie erklären das Phänomen aus der Lichtbrechung.



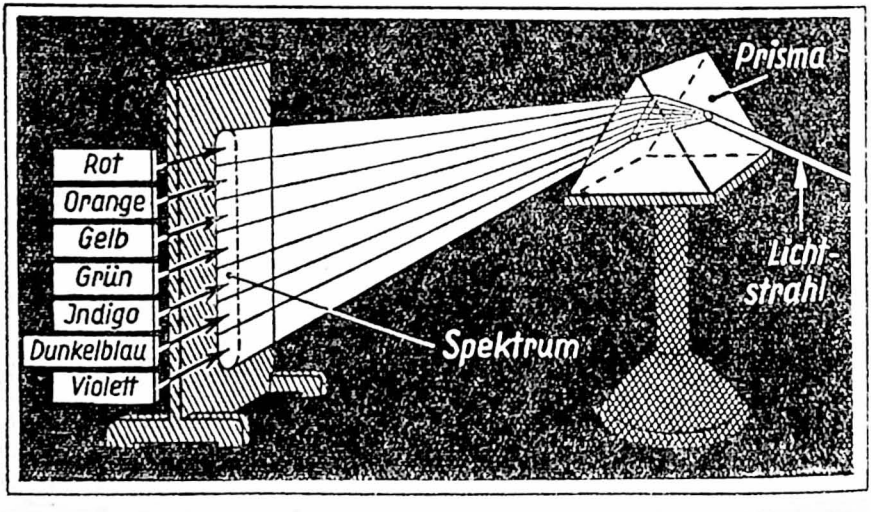
Gelangt nämlich ein Lichtstrahl in ein anderes »Medium«, z. B. aus Luft in Wasser, so wird er »gebrochen«. Das hat so ziemlich jeder, der mit offenen Augen durch die Welt wandert, schon einmal beobachtet, z. B. am scheinbaren Knick des in ein Glas mit Wasser gestellten Stabes.



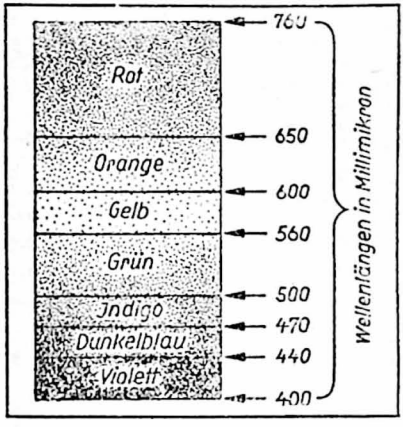
Der Lichtstrahl, der durch eine Glasplatte will, muß sich einen Knick gefallen lassen. Er wird von seinem ursprünglichen Wege abgebogen.



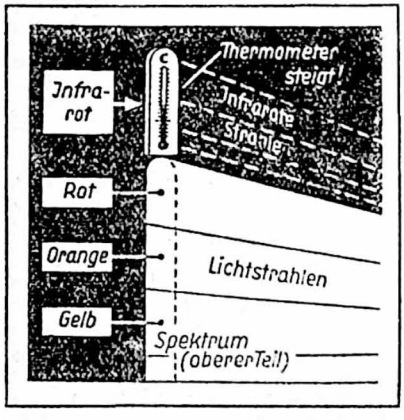
Gewöhnliches weißes Licht setzt sich aus vielen Farben zusammen. Jede Farbe hat – wie vorher gesagt – ihre eigene Wellenlänge. Je nach der Wellenlänge werden die einzelnen Lichtstrahlen mehr oder weniger gebrochen, die kürzeren stärker, die längeren weniger stark.



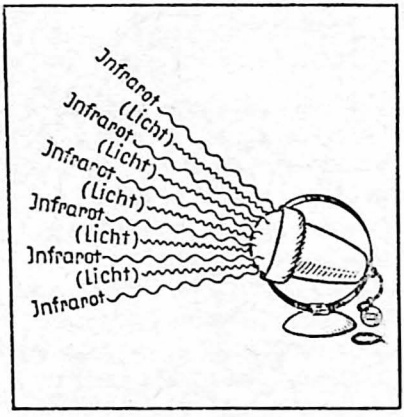
Machen wir einen kleinen Versuch mit Hilfe eines gläsernen Prismas (manchmal baumelt so ein Ding am »Kristallüster«). Lassen wir im verdunkelten Raum auf irgendeine Weise — etwa durch eine abgeblendete Taschenlampe — einen Lichtstrahl auf das Prisma fallen. Das weiße Licht wird farbenprächtig zerlegt, und wir sehen auf einem weißen Bogen Papier, den wir geeignet aufgestellt haben, die ganze Farbenskala. Sie beginnt mit violett, wird dunkelblau, indigo, grün, gelb, orange und wechselt schließlich in rot über. Am stärksten werden die violetten Strahlenanteile des weißen Lichtes, die kurzwelligsten, gebrochen, immer geringer die folgenden, die roten mit längster Welle am wenigsten.



Hier im Bild ist das ganze sichtbare »Spektrum« aufgezeichnet; angemerkt sind die Wellenlängen der einzelnen Lichtanteile. Wir sehen: Rot hat die »längsten« Wellen, violett die »kürzesten«. Die Wellenlängen sind in einem der Kleinstmaße angegeben, nämlich in »Millimikron«. Ein Mikron ist der 1000ste Teil eines Millimeters; ein Millimikron ist von dieser klitzekleinen Strecke wieder der 1000ste Teil und heißt μ (sprich Mü)



Über das Rot des Spektrums hinaus hat man keinen Lichteindruck mehr. Aber das Wellenband ist dort nicht einfach abgeschnitten! – Daß auch noch anschließend Strahlen wirken, kann man mit einem empfindlichen Thermometer nachweisen. Es zeigt hier nämlich einen Temperaturanstieg an!

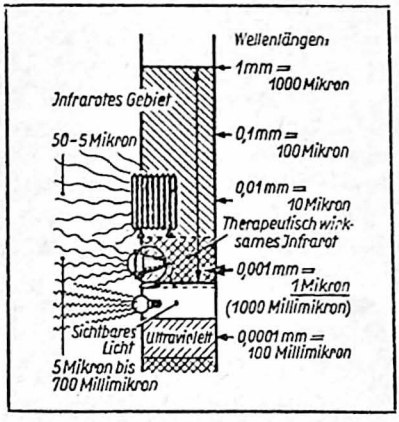


Jenes unsichtbare Gebiet des Spektrums nennt man das »infrarote« (auch das »ultrarote«), d. h. soviel wie das »jenseits« des Rot liegende.

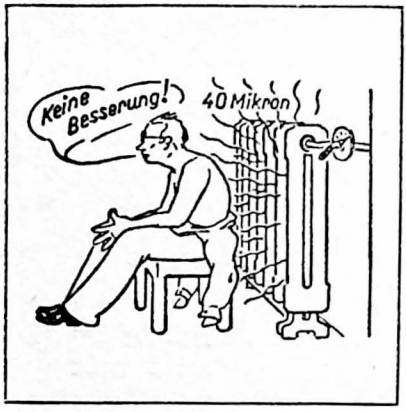
Die Infraphil-Lampe sendet »unsichtbare« infrarote Lichtanteile aus, daneben allerdings auch sichtbares Licht.

Auf das infrarote »Licht«-Gebiet kommt es hier an, auf die warmen und wärmenden unsichtbaren »Lichtstrahlen«.

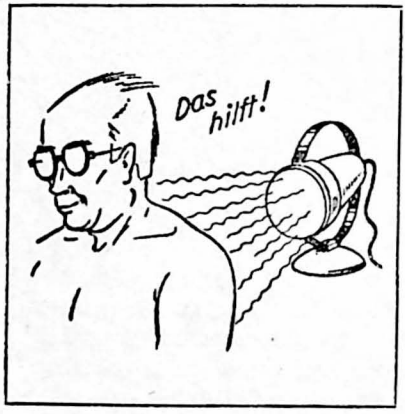
Senden nicht auch der Zentralheizungskörper oder der elektrische Heizofen infrarote Wärmestrahlen aus? Gewiß tut er das, aber nicht jene infraroten Strahlen, die für Heilzwecke besonders geeignet sind. Wenn die Geschichte so einfach wäre, dann hätte man sich in den Philipslaboratorien nicht die außerordentlichen Mühen gemacht, die mit der Entwicklung der Infraphil-Lampe verbunden waren.



Die Wellen des infraroten Lichtes werden um so länger, je mehr sie sich vom Gebiet des sichtbaren Lichtes entfernen. Sie erreichen aufwärts »Längen« bis zu einem Drittel Millimeter. Das Infrarot-Band ist also sehr breit, viel breiter als das des sichtbaren Lichtes. Für Heilbehandlungen eignet sich nur das Strahlengebiet mit Wellenlängen zwischen 5 Mikron und 700 Millimikron.

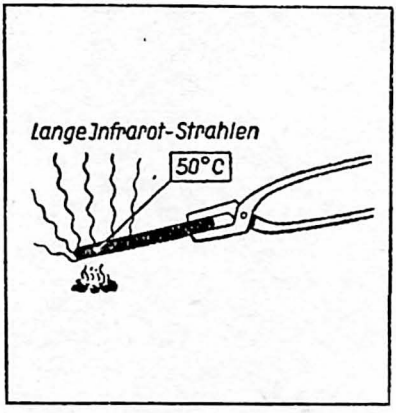


Es kommt bei der Wärmebehandlung sehr darauf an, daß die infraroten Strahlen die Haut durchdringen. Ein nur oberflächlich erzeugtes Wärmegefühl vermag wohl eine angenehme Wirkung auszuüben, eigentliche Heilwirkungen oder wirklich schmerzstillende Dauerwirkungen aber bleiben aus.

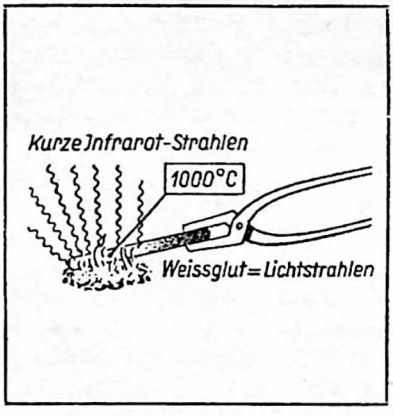


Lediglich der Wellenbereich zwischen 0,7 bis 1,4 Mikron entspricht vollkommen therapeutischen Anforderungen. Die Infrarotwellen dieses Gebietes vermögen allein die Haut zu durchdringen und Tiefenwirkung auszuüben. Die Infraphil-Lampe sendet hauptsächlich Wellen in der Größenordnung von 1 Mikron aus! Also gerade die geeignetsten! (Zur Erklärung: Ist die Wellenlänge größer als 1,4 Mikron, dann werden die Wärmestrahlen durch den Wassergehalt der Haut absorbiert, ist sie kleiner, dann werden sie durch den im Blut enthaltenen Farbstoff aufgenommen.)

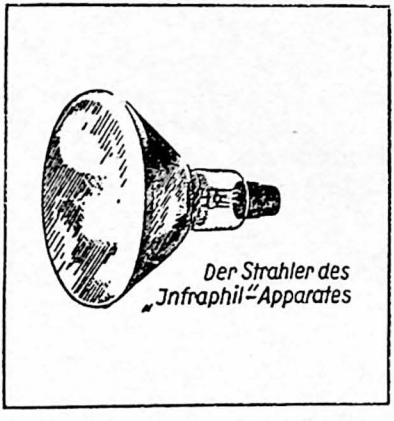
Die ersten Infraphil-Lampen waren noch nicht mit einem Rotfilter versehen, das das gleichzeitig abgestrahlte weiße Licht milderte. Es könnte deshalb die Frage auftauchen, ob es nötig ist, überhaupt grell-weißes Licht zu erzeugen, da es doch nur auf den Infrarotanteil ankommt. Die Frage muß – wie wir noch sehen werden – bejaht werden.



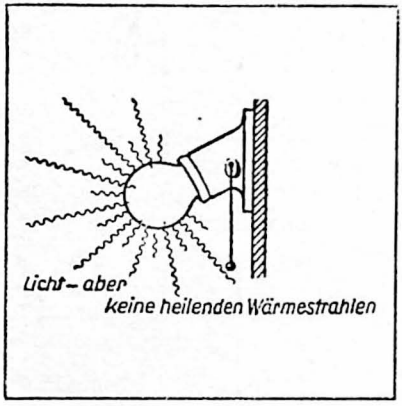
Wird ein Metallstab warm gemacht, so sendet er zunächst lange infrarote Strahlen aus.



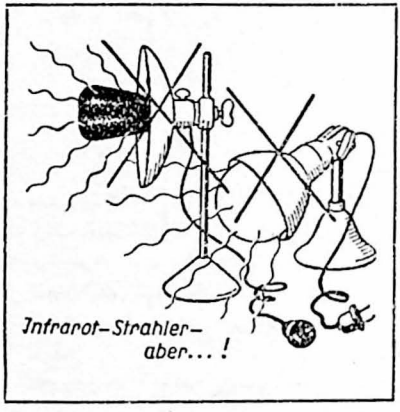
Wird der Stab heißer, dann mengen sich zu den unsichtbaren Infrarotstrahlen sichtbare Lichtstrahlen, zuerst rote, dann auch andere, bis er bei Weißglut hell leuchtet.



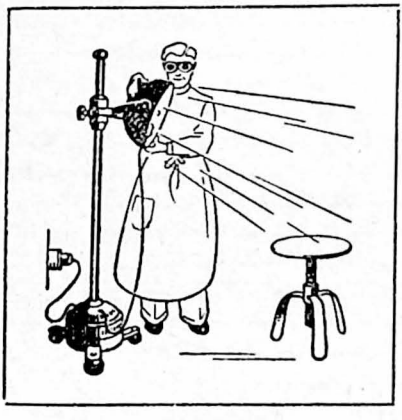
In der Infraphil-Lampe befindet sich ein Heizwendel aus Wolframdraht (ähnlich wie in einer Glühlampe), das bei Stromzufuhr auf eine Temperatur von 2600 Grad kommt. (Wolfram schmilzt erst bei 3400 Grad!)



So hohe Temperaturen sind erforderlich, damit intensiv wirkende Infrarotstrahlen ausgesandt werden. Es läßt sich dabei nicht vermeiden, daß auch sichtbares Licht entsteht. — Die Glühfäden der normalen Glühlampen strahlen ebenfalls Ultrarotwellen ab, aber weder mit genügender Intensität noch in genügender Breite. Ihre Strahlungsaufgaben sind eben ganz andere.



Es werden zahlreiche andere Infrarotstrahler angeboten, doch weder die „Dunkelstrahler" noch die rot glühenden Strahlungsquellen halten einen Vergleich mit der „Infraphil" aus.
Die ersteren lassen sich mit einem warmen Ofen vergleichen. Ihre Strahlen haben keinerlei Tiefenwirkung. Statt der letzteren könnte man jeden elektrischen Heizofen verwenden, dessen langwellige Wärmestrahlen ebenfalls ohne Tiefenwirkung bleiben.

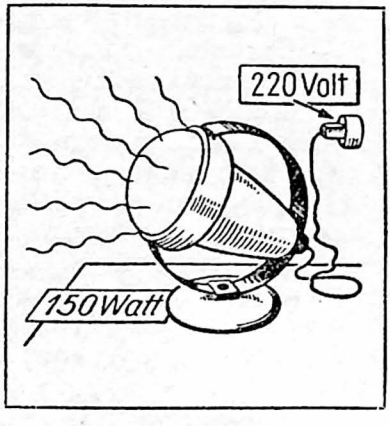


„Und die künstlichen Höhensonnen?" – Das sind Ultraviolett-Strahler. Sie lassen sich erst recht nicht mit Infrarot-Geräten vergleichen (siehe Zeichnung Seite 403) Sie haben ganz andere therapeutische Aufgaben zu erfüllen, sie werden z. B. bei Rachitis, Skrofulose, Wachstumsstörungen, Blutarmut und Bleichsucht usw. mit Erfolg eingesetzt. In einigen Fällen überschneiden sich die Anwendungsgebiete.

Die kleine Infraphil-Lampe hilft bei Erkältungen, Grippe, Influenza, bei verschiedenen Entzündungen, bei Furunkeln, rheumatischen Schmerzen, bei Hexenschüssen, Gicht und Verstauchungen, bei Blutergüssen und Zahnschmerzen, bei Frostfingern und aufgesprungener Haut. Selbst in der Kosmetik tut sie gute Dienste.

Der Infraphil-Strahler verbraucht 150 Watt. Kostet die Kilowattstunde 10 Pfennige, dann kostet die acht Tage lang wiederholte 20-Minuten-Bestrahlung insgesamt nur 4 Pfennige!

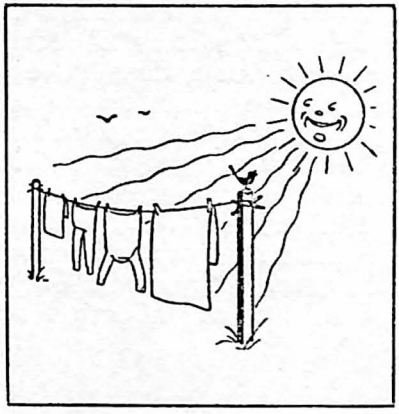
Zum Schluß noch ein Wort über die Heilwirkung der Wärme: Es ist bekannt, daß sich der menschliche Körper selbst beim Eindringen von Infektionsstoffen zur Wehr setzt, indem er seine Temperatur steigert. Man nennt diese Überproduktion an Wärme „Fieber". Die Heilwirkung der Wärme (therapeutische Wirkung) beruht darauf, daß sich die Blutgefäße des erkrankten Gewebes unter ihrem Einfluß erweitern. Dadurch lassen sie eine größere Blutmenge durch, die den Heilprozeß beschleunigt und schmerzstillend wirkt. Unser Infraphil erreicht ohne Fieber eine Erweiterung der Blutgefäße gerade an der kranken Stelle des Körpers.



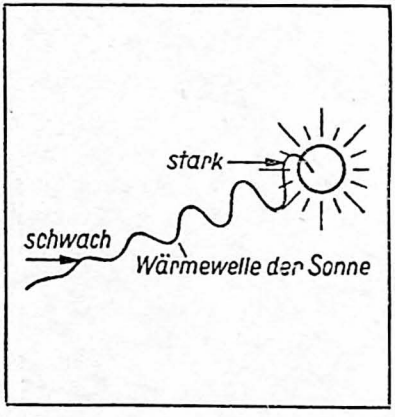
Für industrielle, gewerbliche und eine Reihe „häuslicher" Zwecke gibt es noch eine andere Art von Infrarot-Strahlern, mit denen man z. B. auf moderne Weise schneller und besser trocknen kann. Sie unterscheiden sich wesentlich von den Heilstrahlern und werden kurz „Infrarot-Trockner" oder „Trockenstrahler" genannt. Über sie unterrichtet der nächste Abschnitt.

B) INFRAROT-TROCKNER

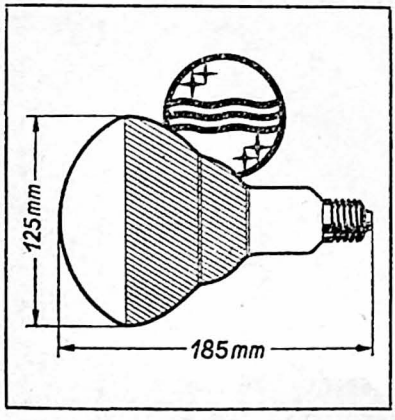
1. Wirkungsweise und Aufbau



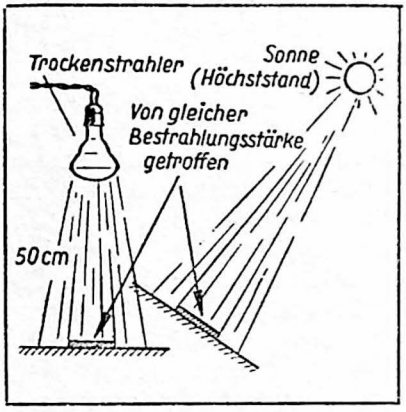
Wärmestrahlen trocknen. Die Sonne sendet zugleich mit ihren blendenden Lichtwellen — wie jeder weiß — auch Wärmestrahlen aus.



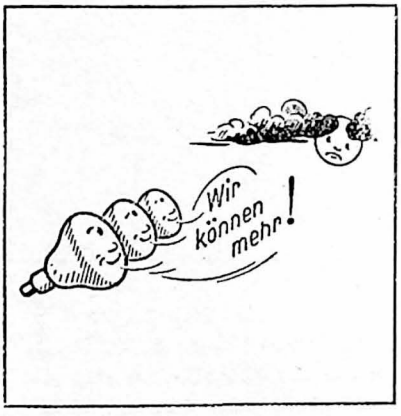
Wenn die infraroten Wellen der Sonne zu uns auf die Erde gelangt sind, dann haben sie auf ihrem weiten Wege sehr an Energie eingebüßt.



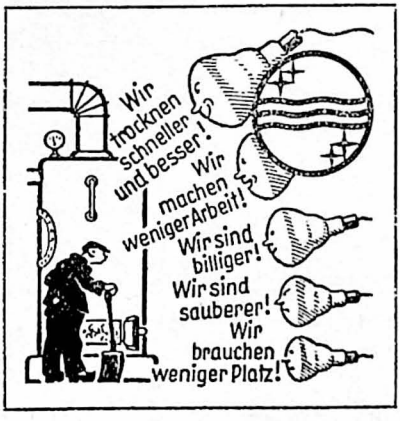
Einen technischen Spender infraroter Strahlen haben wir kennengelernt, den Infraphil-Strahler. Für die Aufgabe der Trocknung durch Wärme gibt es eine ähnliche Strahlungsquelle, den Infrarot-Trockenstrahler.



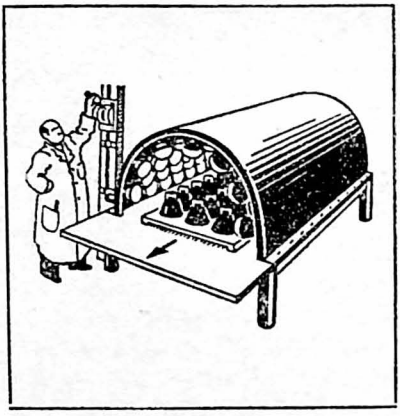
Ein einziger derartiger Strahler hat in 50 cm Abstand ungefähr die gleiche Bestrahlungsstärke wie die unverdeckte Sonne bei ihrem Höchststand (unter günstigsten Verhältnissen) — und das will etwas heißen. — Geht man auf 10 cm an den Strahler heran, steigt die Bestrahlungsstärke sogar auf das 10fache der Sonnenenergie.



Die Philips-Infrarot-Trockenstrahler wollen aber nicht etwa nur Sonnen-Ersatz sein und sonnenähnliche Wärme liefern, sie wollen und können sogar mehr, zudem stehen sie ständig zur Verfügung.

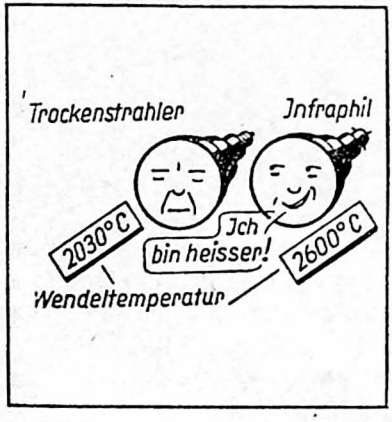


Die Industrie und das Gewerbe brauchen Trockenanlagen für die verschiedensten Zwecke. Die meisten der bisher angewandten Verfahren sind zeitraubend, umständlich, kostspielig und durchaus nicht vollkommen. (Umfangreiche und kostspielige Öfen.)

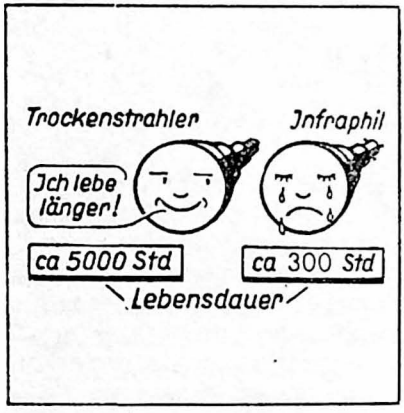


Die saubere Infrarot-Trocknung ist in jeder Hinsicht zweckmäßig: sie ist raum-, vor allem zeitsparend und sehr anpassungsfähig. Besonders hervorzuheben ist das verlustfreie Arbeiten, denn die Energie ist sofort nach dem Einschalten voll wirksam und verschwindet im Augenblick des Abschaltens.
Infrarot-Trocknung ist also geldsparend und damit wirtschaftlich.

Welcher Unterschied besteht zwischen dem Infraphil- und dem Philips-Trockenstrahler?
Der Trockenstrahler ist „kräftiger". Er nimmt 250 Watt Leistung auf. (Später mehr von den Watts.)

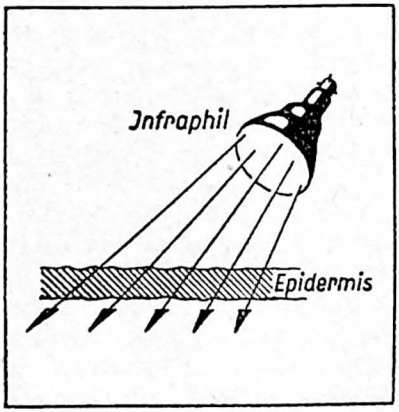


Die Temperatur der Heizwendel ist beim Trockenstrahler geringer. Der abgestrahlte Wellenbereich ist für die besonderen Verwendungszwecke andersgeartet als der des „Infraphil".

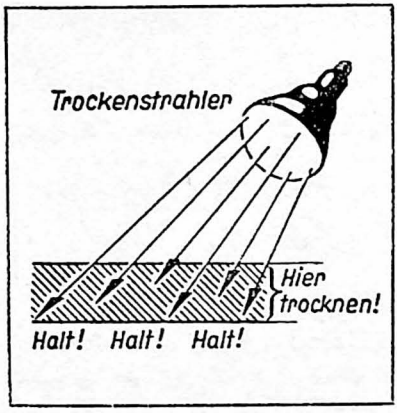


Auf Grund der geringen Wendel-Temperatur ist der Trockenstrahler langlebiger.

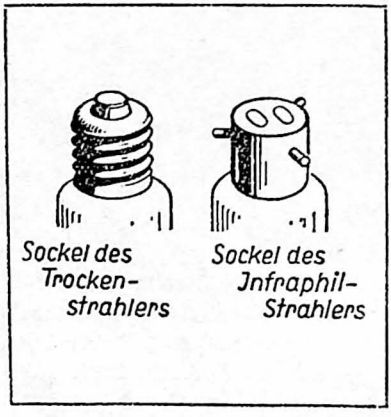
Der Trockenstrahler eignet sich nicht für therapeutische Zwecke, um so mehr eignet er sich für die Erfüllung gewerblicher und industrieller Trocknungs-Aufgaben.



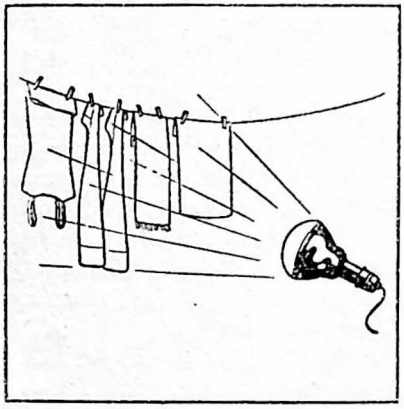
Die Infraphil-Strahlen müssen durch die wasserhaltige Epidermis (Hautschicht) hindurch und tiefer gelegene Gewebe erwärmen (Tiefenwirkung).



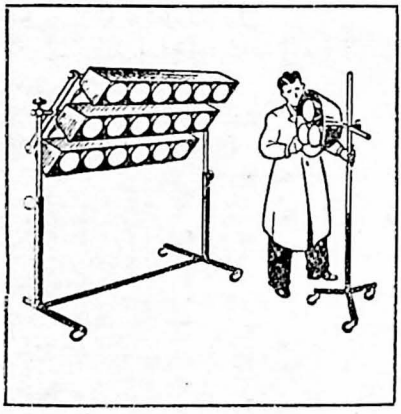
Der Infrarot-Trockenstrahler soll seine Energie nicht unnütz „durch"-strahlen, vielmehr in den zu trocknenden Schichten wirksam werden. Er soll eine möglichst große Wärmemenge innerhalb der bestrahlten Schicht erzeugen.



Sie erkennen diese unterschiedliche Wirkungsweise leicht durch folgenden Versuch:
Halten Sie die Außenseite der einen Hand 1 cm vor einen Infraphil und gleichzeitig die der anderen 2 cm vor einen Infrarot-Strahler! (Der verschiedene Abstand gleicht den Leistungunterschied von 150 bzw. 250 Watt bei weitem aus.)
Daher sind auch die Wellenlängen beider Strahler unterschiedlich. Während beim Infraphil die max. Wellenlänge bei 1 μ (1 tausendstel mm) liegt, wurde sie für den Infrarot-Strahler auf 1,3 μ abgestimmt.



Der Trockenstrahler kann vielfach als Einzelstrahler Verwendung finden . . .



. . . oder er wird in Gruppen angeordnet zum schnelleren und sauberen Trocknen größerer Flächen oder zahlreicherer Gegenstände.

Für die Lacktrocknung ganzer Autokarosserien kann man z. B. einen Durchfahrtstunnel mit einer großen Zahl Infrarot-Trockner aufbauen.

2. Einige Beispiele der Infrarot-Anwendung

In der chemischen und pharmazeutischen Industrie:

Zum Eindicken von Flüssigkeiten.

Für die Fabrikation von Pillen und Tabletten.

Für die Herstellung kosmetischer Artikel.

In der Metallindustrie:

Zum Trocknen von Lacken und Firnissen im Karosseriebau, in Autoreparaturwerkstätten - von gelackten Maschinen- und Apparate-Bestandteilen jeder Art.

Zum Trocknen v. Emaillacken in der Blech- u. Eisenwaren-Industrie.

Zum Trocknen von Gießformen.

In der Uhrenindustrie:

Zum Trocknen von Uhrenbestandteilen u. Zifferblättern.

In der Lederindustrie:

Zum Trocknen v. Häuten, von Schuhen und Lederwaren, v. gefärbtem Leder, zum Aufleimen v. Schuhsohlen.

In der Papier- u. in der papierverarbeitenden Industrie:

Zum Trocknen von Preßspan und Fiberplatten, Papier und Karton, Papierwaren.

In der Textil- und in der textilverarbeitenden Industrie:

findet die Infrarot-Trocknung fast unbeschränkte Verwendung:

Beim Appretieren und Färben von Stoffen und zum Trocknen von Geweben.

Bei der Herstellung von Filz.

In der Fabrikation von Ersatzstoffen und Watte.

In der Fototechnik und auf verwandten Gebieten:

Zum Trocknen von Kamera-Gehäusen, Foto-Kopien und -Vergrößerungen, Lichtpausen, Verformen v. nichtmetallenen Brillengestellen und vor allem auch zur Beschleunigung des Kundendienstes.

In der Druckereibranche:

kann die Infrarot-Strahlung vorteilhaft angewendet werden, und zwar sowohl in Lithographie-Anstalten, als auch für den Buchdruck, Tiefdruck, Offsetdruck, und zum Trocknen von Klischees.

Im Haushalt:

Vernichtung von Schädlingen im Mehl, Sago, Grieß usw.

Für bequemes Haartrocknen.

Zum Trocknen von Nagellack.

Wärme in Küche und Badezimmer.

Warmhalten von Speisen.

Auftauen von Speisen und Rohrleitungen.

Wäschetrocknen an naßkalten Tagen.

Im Büro:

Über Schreibmaschinen (gegen kalte Hände). Unter dem Schreibtisch (gegen kalte Füße). Trocknen von Zeichnungen und Lichtpausen.

Im Gewerbe:

Schnelles Trocknen von frisch verputzten und gestrichenen Wänden in Neubauten.
Beseitigung der Schwammbildung.
Aufwärmen der Hände des Verkaufspersonals in ungeheizten Läden.

In der Landwirtschaft:

Neuzeitliche, erfolgreiche Kükenaufzucht.
Zum Trocknen von Sämereien - gleichzeitige Steigerung der Keimfähigkeit.
Zur Desinfektion des Getreides und zur Vernichtung des Kornwurmes.
Zur Pflanzenbestrahlung in Gärtnereien.

Noch einige weitere, sehr interessante Anwendungsgebiete für Infrarot-Trocknung:

Keramische Produkte, Porzellan, Gips, Zement,
Gelackte Holzwaren,
Geleimte Holzplatten,
Tabak, unter gleichzeitiger Schädlingsbekämpfung.

ANHANG

Ein Begriff wird verständlich: Das Dezibel

„Dezibel"

abgekürzt: „db"

1 Dezibel

= $^1/_{10}$ Bel

Die ursprüngliche Bezeichnung ist nicht das „Dezibel" sondern das „Bel". Das Dezibel ist wie das Dezimeter, der zehnte Teil des „Bel", das praktisch kaum benützt wird. Wir finden das „Dezibel" (abgek. „db") z.B. bei den zeichnerischen Darstellungen der Frequenzcharakteristiken, von denen wir einige in den Abschnitten über Verstärker und über Lautsprecher kennen lernten.

Um den Wissensdrang des Lesers zu befriedigen, soll gleich gesagt werden, was die Techniker und Physiker mit dem Dezibel meinen. Es ist keine Maßeinheit, wie etwa das Meter oder das Gramm. Es läßt lediglich das Verhältnis zweier gemessener Werte zueinander erkennen. Am Beispiel eines Verstärkers mag das erläutert werden. An seinem Ausgang mißt man eine bestimmte Spannung, an seinem Eingang eine andere, niedrigere Spannung, denn Aufgabe des Verstärkers ist ja zu verstärken (bei Spannungsverstärkern wird die zugeführte Wechselspannung verstärkt). Das Verhältnis der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung kann z.B. 1:1000 betragen, entsprechend einer Verstärkung um das Tausendfache – Das Dezibel gibt dieses

Verhältnis nicht im natürlichen Zahlensystem, sondern logarithmisch an. (Logarithmus des Spannungsverhältnisses). Damit stoßen wir auf eine Schwierigkeit, die wir nach einigen Vorbemerkungen leicht überwinden werden.

$3^2 = 9$

3 = Basis
2 = Exponent
9 = Potenz

Beginnen wir mit Mut: Der mathematische Ausdruck 3^2 bedeutet – um es ganz einfach zu sagen – daß man die 3 zweimal hintereinander niederschreiben und dann miteinander multiplizieren soll: $3^2 = 3$ mal $3 = 9$. Stellt sich ein Ausdruck in der Form 3^4 (sprich 3 hoch 4) vor, so übersetzen wir das in der Weise, daß wir niederschreiben: 3 mal 3 mal 3 mal 3 und – wenn es uns Spaß macht – ausrechnen, was dabei herauskommt, nämlich 81. Ein anderes Beispiel: 2^2 (sprich 2 hoch 2, oder 2 zum Quadrat) $= 2 \times 2 = 4$. Entsprechend ist 4^3 (sprich 4 hoch 3) $= 4 \times 4 \times 4 = 64$ usw. Den rechnerischen Vorgang nennt man „Potenzieren". Man erhebt eine Zahl in die 2te, 3te, 4te oder 100ste Potenz. Die Grundzahl nennt man „Basis", die hochgestellte „Exponent" und das Resultat „Potenz". Im Falle $5^4 = 3125$ ist 5 die Basis, 4 der Exponent, 3125 die Potenz.

Potenzieren:

$3^2 = x$

x = gesuchter Potenz-Wert

$x = 3 \cdot 3 = 9$

Sehen wir uns nochmal den Zahlenausdruck $3^2 = 9$ an und überlegen wir uns, welch' mathematische Rätsel aus ihm geboren werden können. Das erste wurde genannt und gelöst: nämlich „$3^2 = x$" und $x = 9$. In der Mathematik bezeichnet man unbe-

Radizieren:
(Winkelziehen)

$x^2 = 9$

x = gesuchter Basis-Wert

$x = \sqrt[2]{9} = 3$

kannte und zu findende Werte mit x. — Das Ergebnis wäre 3. Man schreibt eine derartige Aufgabe allerdings anders nieder und zwar so: $x = \sqrt[2]{9}$ (sprich x gleich zweite Wurzel aus 9). Sie sagt uns, daß wir die Zahl suchen sollen, die mit sich selbst multipliziert 9 ergibt. Es ist das berühmte „Wurzelziehen" oder „Radizieren" (radix = die Wurzel). Die zweite Wurzel aus 25 ist z.B. 5, denn 5 x 5 = 25. Die dritte Wurzel aus 27 — niedergeschrieben $x = \sqrt[3]{27}$ — ist gleich 3 (Probe: 3 x 3 x 3 = 27).

Logarithmieren:

$3^x = 9$

x = gesuchter Exponent-Wert

$x = 2$

Die dritte Rätselmöglichkeit sieht so aus: $3^x = 9$. Hier soll die Zahl gefunden werden, die angibt, wie oft wir die 3 zum Multiplizieren hintereinander setzen müssen, damit am Ende 9 herauskommt. Wir wissen bereits, daß wir für x die Zahl 2 setzen müssen, denn $3^2 = 9$. Die Aufgabe des Suchens nach dem Wert des „Exponenten", der hochgestellten Zahl, nennt man „Logarithmieren". Und auf dieses Logarithmieren war es abgesehen.

Vielleicht fällt uns dabei ein, daß wir schon einmal etwas von Logarithmentafeln läuten gehört haben. In diesen Tafeln, die schwierige Rechnungen sehr erleichtern können, sind unendlich viele Zahlen-

werte enthalten, mit denen der Geübte beglückt wie mit einem Spielzeug umgeht. Genau gesagt findet man in den Zahlenkolonnen alle Werte von Exponenten, die zu einer bestimmten Potenz gehören, wobei stillschweigend vorausgesetzt ist, daß die Basis stets 10 ist, z.B.

Aufgabe	Lösung	Probe
$10^x = 10$	$x = 1$	$10^1 = 10$
$10^x = 100$	$x = 2$	$10^2 = 100$
$10^x = 1000$	$x = 3$	$10^3 = 1000$
$10^x = 10000$	$x = 4$	$10^4 = 10000$

Wie aber steht's mit anderen Zahlen als Exponenten mit der Basis 10, bei denen die Rechnung nicht so glatt aufgeht, z.B. bei $10^x = 3$, bei $10^x = 4$, bei $10^x = 16$ oder $10^x = 50$? — Wir wollen nicht auf die Rechnungsmethode eingehen und haben deshalb einfach die Resultate zusammengestellt:

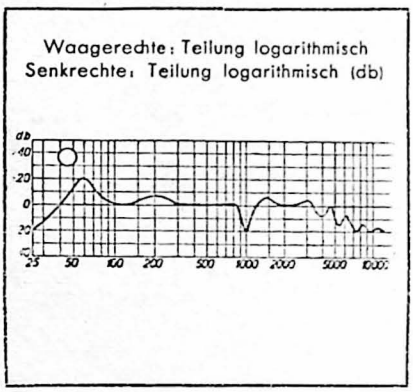
Aufgabe:	Lösung:	Probe:
$10^x = 3$	$x = 0{,}4771$	$10^{0{,}4771} = 3$
$10^x = 4$	$x = 0{,}6021$	$10^{0{,}6021} = 4$
$10^x = 16$	$x = 1{,}2041$	$10^{1{,}2041} = 16$
$10^x = 50$	$x = 1{,}6990$	$10^{1{,}6990} = 50$

Diese Werte können wir — nebenbei gesagt — aus den Logarithmentafeln direkt ablesen, wenn wir bei 3 oder 4 oder 16 oder 50 nachschauen.

Uns kommt es jedoch hier nicht darauf an, in das logarithmische Rechnen einzuführen, es sollte nur gezeigt werden, wohin die Begriffe „Logarithmus" und „logarithmieren" gehören und was mit Ihnen gemeint ist. — Sehen wir uns nochmal die vorher angegebene Reihe an, laut welcher den geraden Zahlenwerten der „Exponenten" Potenzwerte entsprechen, die hier wiederholt sind.

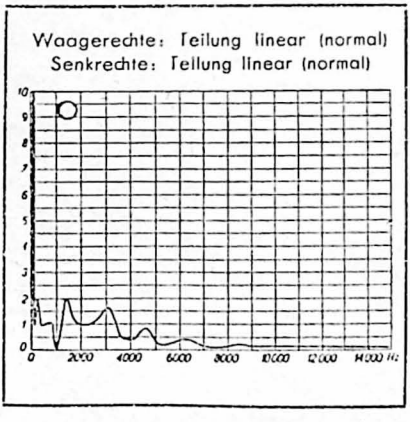
Exponent	Potenz
1	10
2	100
3	1000
4	10 000

Bei der Betrachtung dieser Tabelle wollen wir uns der früher dargestellten Frequenzcharakteristiken erinnern.

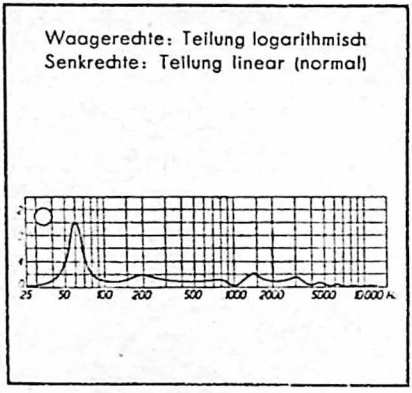


Hier ist eine solche „Kurve", wir sehen, daß die Waagerechte nicht gleichmäßig unterteilt ist, sie trägt vielmehr eine „logarithmische" Teilung: Die Abstände 10 bis 100, 100 bis 1000, 1000 bis 10000 sind gleich! Diese Aufteilung hat u.a. den Vorteil, daß jenes für das Ohr so wichtige Gebiet mit den Frequenzen unter 1000 Hz breit auseinandergezogen ist, während es bei der „linearen" (normalen) Teilung der Waagerechten zu einem unbedeutenden Stück zusammengedrängt ist.

Bei der „linearen" Teilung nimmt das Gebiet oberhalb von 5000 Hertz, das „tonlich" gesprochen, nur anderthalb Oktaven umfaßt, einen ungerechtfertigt großen Teil der Darstellung ein. Bei der logarithmischen Teilung zeigt die Frequenzkurve oberhalb von 5000 Hertz noch interessante Unregelmäßigkeiten, die bei der gewöhnlichen Teilungsmethode kaum mehr in Erscheinung treten.



Doch kehren wir zu den „Dezibel" zurück, die, wie gesagt, die Wertverhältnisse logarithmisch angeben. Hier sieht es ähnlich aus. Würde man „natürliche" Intensitäts-Zahlenwerte bei der Frequenzcharakteristik verwenden, dann zeichnen sich die wesentlichen Eigenschaften des untersuchten Gerätes lange nicht so klar ab, wie bei der Dezibel-Teilung der Senkrechten, die eine „logarithmische" ist (erste Kurvendarstellung).



In bezug auf die Frequenzcharakteristiken bleibt zu erwähnen, daß der Null-Pegel (die Null-Linie) bei einer bestimmten Schallstärke als Waagerechte gezogen, wird. Das geschieht leider nicht einheitlich, z. B. in Amerika an anderer Stelle, in anderer Höhe, als in Deutschland.

Mit den Dezibel-Angaben werden nicht nur die Verstärkungsverhältnisse, seien sie bezogen auf Spannungen, Stromstärken oder Leistungen, gekennzeichnet, sondern auch Dämpfungen, die man als „negative" Verstärkung bezeichnen könnte. Da es sich um Verhältniszahlen handelt, lassen sich die absoluten Größen aus den Dezibel-Angaben nicht ableiten, d. h. man kann nicht aus ihnen entnehmen, wie groß die Spannungen, Stromstärken oder Leistungen wirklich sind!

Die folgende Dezibel-Tabelle mag eine gewisse Übersicht geben. Einige Beispiele dazu: Beträgt die Spannungsverstärkung 20 Dezibel, so ist damit gemeint, daß sich die Eingangsspannung zur Ausgangsspannung verhält wie 1 zu 10, bei 40 db wie 1 zu 100, bei 60 db wie 1 zu 1000, bei 80 db wie 1 zu 10000.

Dezibel-Tafel

Dezibel	Wertverhältnisse	
	der Spannungen bzw. Ströme ca.	der Leistungen ca.
0	1,00	1,00
1,0	1,11	1,23
2,0	1,26	1,59
3,0	1,41	1,99
4,0	1,59	2,53
5,0	1,78	3,16
6,0	2,00	4,00
7,0	2,24	5,01
8,0	2,51	6,30
9,0	2,82	7,95
10,00	3,16	10,00
12,00	3,98	15,80
14	5,01	25,20
16	6,31	39,90
18	7,94	63,00
20	10	100
30	31,62	1000
40	100	10000
50	316	100000
60	1000	10^6
70	3162	10^7
80	10000	10^8
90	31620	10^9
100	100000	10^{10}

NIEDERFREQUENZ-VERSTÄRKERTECHNIK

von Dr. Ing. N. A. J. Voorhoeve

550 Seiten; 467 Abbildungen. Die deutsche Ausgabe ist in Vorbereitung.

Dieses Buch ist dadurch gekennzeichnet, daß es die gesamte NF-Verstärkertechnik umfaßt. Es ist auf diesem Gebiet das vollständigste Werk, das bisher erschienen ist.

FERNSEHEN

von Fr. Kerkhof und Dipl.-Ing. W. Werner

510 Seiten; 400 Abbildungen und 2 Ausschlagtafeln mit Grundschaltungen.

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 28,— DM

„Elektron", Augustausgabe 1951, schreibt: *„Wir können rundheraus sagen, daß uns kein besseres Buch über Fernsehtechnik bekannt ist!"*

DEHNUNGSMESSTREIFEN — MESSTECHNIK

Theorie und praktische Anwendung von Dehnungsmeßstreifen und der zugehörigen Meßgeräte von Prof. J. J. Koch, Ing. R. G. Boiten, Ing. A. L. Biermasz, G. P. Roßbach, G. W. van Santen.
100 Seiten, 66 Abbildungen.

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 8,— DM

Dieses Buch ist die erste auf diesem Gebiet erschienene zusammenfassende Veröffentlichung.

FARBE UND FARBWAHRNEHMUNG

von Dr. P. J. Bouma

312 Seiten, 113 Abbildungen und 15 Tabellen

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 23,50 DM

Bestimmt für Studenten der Naturwissenschaften und der Technik, für Physiker, Ingenieure, Biologen und Ärzte, vor allem für diejenigen, die sich mit der Herstellung, Verarbeitung und mit dem Verkauf von Farbstoffen oder gefärbten Erzeugnissen beschäftigen. (u. a. in der Farben-, Textil- oder Papierindustrie)

GASENTLADUNGSLAMPEN

von Dipl.-Ing. P. J. Oranje

290 Seiten; 192 Abbildungen und Photos

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 13,50 DM

Für beratende Ingenieure, Installateure, technische Abteilungen in staatlichen oder städtischen Werken und Privatunternehmen, Institute für technische Fachausbildung, Dozenten und Studenten sehr empfehlenswert.

FLUORESZENZBELEUCHTUNG

von Prof. Dr. C. Zwikker und seinen Mitarbeitern

262 Seiten; 146 Zeichnungen und Photographien sowie 14 Lichtbildern außerhalb des Textes; ein Abdruck des Farbendreiecks als Beilage.

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 21,75 DM

Prof. Dr. Ing. W. Arndt schreibt in seinem „Zum Geleit": *Es war ein glücklicher Entschluß von Prof. Dr. C. Zwikker, dieses ganze Gebiet der „Fluoreszenzbeleuchtung" von einer Reihe fachkundigster Mitarbeiter beschreiben zu lassen und das inhaltreiche und reizvolle Werk in geschlossener Darstellung herauszugeben Es erscheint im rechten Augenblick und es ist in jeder Hinsicht das modernste Werk der lichttechnischen Literatur.*

KUNSTLICHT UND ARCHITEKTUR

von Dipl.-Ing. L. C. Kalff

292 Seiten; 146 Zeichnungen, 147 Photos und 9 Tabellen; 18×28 cm
Preis deutsche Ausgabe . . . . . 18,— DM

Mit diesem Werk hat Dipl.-Ing. Kalff ein brauchbares Handbuch geschaffen, das zahlreichen Baufachleuten auf diesem schwierigen Gebiet als Wegweiser dienen kann.

KUNSTLICHT UND PHOTOGRAPHIE*)

von Dr. G. D. Rieck und Dipl.-Ing. L. H. Verbeek

380 Seiten; 180 Abbildungen und Photos, 50 Kunstphotos (ganzseitig) und 4 Farbphotos; 18×28 cm.
Preis deutsche Ausgabe . . . . . 29,50 DM

Dieses Buch gibt dem Beruf- und Pressephotographen die theoretische Basis, die es ihm ermöglicht, die durch die modernen Lichtquellen und photographischen Materialien gebotenen Möglichkeiten noch ausgiebiger auszunutzen.

Zu beziehen durch den einschlägigen Fachhandel und durch unsere Vermittlung

*) Zu beziehen auch durch den Photofachhandel.

MANUAL FOR THE ILIUMINATING ENGINEER ON LARGE SIZE PERFECT DIFFUSORS

von H. Zijl

Wird nur in englischer Sprache herausgebracht. 272 Seiten. 200 Abbildungen und mehrere Tabellen.

Preis . . . . . 19,50 DM

The present work is a survey of the problems of light destribution for diffuse emitters of both finite and infinite dimensions. The mathematical formulae recommended for practical use are clearly set out, and for those who demand the theoretical basis, the author how they are derived, and thus indicates the way to further study.

LICHTBERECHNUNGEN UND LICHTMESSUNGEN

von H. A. E. Keitz

Einführung in das System der lichttechnischen Größen und Einheiten und in die Photometrie. 446 Seiten; 225 Abbildungen und 15 Tabellen.

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 28,— DM

Serie

ELEKTRONENRÖHREN

Band I

Grundlagen der Radioröhrentechnik

von Dipl.-Ing. J. Deketh

457 Seiten, 384 Lichtbilder und Zeichnungen

Preis 4. deutsche Ausgabe . . . . . 22,— DM

Auf zahlreichen wissenschaftlichen Gebieten bedient man sich in stets steigendem Maße der – dank der Elektronenröhre – gebotenen neuen Möglichkeiten, und neue Geräte für die verschiedenartigsten Anwendungszwecke kommen in schneller Folge heraus. Darum gewinnt die Kenntnis der Eigenschaften, des Aufbaus, der Schaltungen und Arbeitsgebiete der Röhren eine täglich wachsende Bedeutung. Technikern und Studenten dient dieser Band als ein vortreffliches Handbuch beim Studium der Elektronenröhrentechnik. Die 4. deutsche Ausgabe ist fast vergriffen. Die Ausgabe in englischer, französischer und holländischer Sprache ist noch erhältlich.

Band II

Daten und Schaltungen moderner Empfänger- und Kraftverstärkerröhren

412 Seiten, 532 Abbildungen.

Preis deutsche Ausgabe. . . . . 13,50 DM

Dieses Werk enthält die Daten der in den Jahren 1933/1939 auf dem Markt erschienenen Elektronenröhren mit den entsprechenden Schaltungen und Meßgeräten.

Erhältlich in deutscher, englischer und französischer Sprache.

Band III

Daten und Schaltungen

Ergänzungsband 1

220 Seiten, 267 Abbildungen.

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 10,— DM

Dieser Band enthält die Daten der sogenannten Schlüsselröhren aus den Jahren 1940/1941.

Band III A

Daten und Schaltungen

Ergänzungsband 2

500 Seiten, 505 Abbildungen.

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 22,50 DM

Dieses Werk enthält die Daten der Rimlockröhren sowie Röhren aus den Noval- und Miniatur-Serien aus den Jahren 1945/50.

Anwendung der Elektronenröhre in Rundfunkempfängern und Verstärkern

(3 Bände: Band IV, V und VII)

von Dr. B. G. Dammers, Ing. J. Haantjes, J. Otte und Dipl.-Ing. H. v. Suchtelen

Band IV

Behandelt: a) HF- und ZF-Verstärkung
b) Mischung
c) Bestimmung der Paddingkurve
d) Störerscheinungen und Verzerrung infolge der Kennlinienkrümmung der Empfangsröhren
e) Signalgleichrichtung

467 Seiten, 256 Abbildungen

Preis deutsche Ausgabe . . . . . 22,— DM

Band V

Behandelt: a) NF-Verstärkung
b) Endstufe
c) Speisung

455 Seiten, 343 Abbildungen

Preis deutsche Ausgabe . . . . . DM 28,50

Band VII

Senderöhren

von Dipl.-Ing. P. J. Heijboer und Dipl.-Ing. P. Zijlstra

300 Seiten; 256 Abbildungen, 12 Tabellen.

Aus dem Inhalt:

I. Die Technologie der Senderöhre
II. Klassifizierung
III. Die Triode als Sendeverstärker
IV. Die Triode und die Pentode als Sendeverstärker
V. Die Modulation des Sendeverstärkers
VI. Die Senderöhre als Oszillator
VII. Die Senderöhre als Frequenzvervielfacher
VIII. Besondere Gegenstände
IX. Senderöhren für sehr hohe Frequenzen

ZEITSCHRIFTEN

PHILIPS' Technische Rundschau

erscheint in deutscher, englischer, französischer und holländischer Sprache. Eine Monatszeitschrift, die technische Fragen behandelt im Zusammenhang mit Erzeugnissen, Arbeitsverfahren, Forschungsergebnissen der PHILIPS-Werke. Sie enthält Artikel über Beleuchtungstechnik, Elektronika, Röntgenwissenschaft u. dgl.

32 Seiten pro Nummer, Format 20 × 29,5 cm.

Preis pro Jahrgang . . . . . 20,60 DM

Metallurgy and construction

von Dr. Ing. E. M. H. Lips

Diese englische Ausgabe ist **in Vorbereitung.**

Erscheint Anfang 1953.

260 Seiten; 171 Abbildungen und 54 Tabellen.

Ein fachmännisches Urteil:

„Die in der Literatur auf diesem speziellen, kombinierten Gebiet bestehende Lücke wird durch dieses Werk auf ganz vortreffliche Weise ausgefüllt. Dieses Buch kann jedem Techniker als ein wertvoller Besitz warm empfohlen werden."

Einführung in das Gebiet der mechanischen Schwingungen

von G. W. van Santen

300 Seiten, 200 Abbildungen.

In Vorbereitung

PHILIPS' Research Reports

nur in englischer Sprache. Erscheint 6 × pro Jahrgang. Jedes Heft 80 Seiten. Format 15,5 × 23,5 cm. Behandelt die neuesten Ergebnisse der in den verschiedenen Laboratorien der PHILIPS-Werke ausgeführten Forschungsarbeiten, sowohl experimentell wie theoretisch, auf dem Gebiete der Physik, Chemie und Technik.

Preis pro Jahrgang . . . . . 22,50 DM

Communication News

nur in englischer Sprache. Eine vierteljährlich erscheinende Zeitschrift. Behandelt Sendeanlagen — Senderöhren — Leitungstelephonie — Leitungstelegraphie — automatische Telephonie.

32 Seiten pro Heft. Format 20,5 × 29,5 cm.

Preis pro Jahrgang . . . . . 12,80 DM